



CERRAMIENTOS CON PANELES DE ENTRAMADO LIGERO DE MADERA

en edificios para viviendas con estructura de
hormigón armado en la República Dominicana

LAURA PÉREZ MESTRE

Cerramientos con paneles de entramado ligero de madera en edificios para viviendas con estructura de hormigón armado en la República Dominicana:

Comportamiento general y estudio específico de los anclajes a la estructura

Universidad Politécnica de Cataluña

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona

*Máster en Tecnología en la Arquitectura,
línea de Construcción e Innovación Tecnológica*

TESINA DE MÁSTER

Autor: Laura Pérez Mestre, Arqta.

Director: Jaume Avellaneda, Dr. Arqto.

Barcelona. Septiembre, 2015

Índice

1. Objetivos	6
2. Introducción	7
2.1 Acerca del uso de los paneles de entramado ligero de madera como cerramiento.....	7
2.2 Acerca de los anclajes utilizados para este tipo de paneles	13
3. Estado del Arte	17
4.Comportamiento general de los paneles de entramado ligero como cerramiento exterior.....	23
4.1 Comportamiento frente a sismos	23
4.2 Resistencia a vientos	27
4.3 Impacto ecológico	29
4.4 Confort y temperatura radiante	32
5. Propuesta.....	40
5.1 Panel de entramado ligero.....	40
5.1.1 Estructura.....	40
5.1.2 Aislamiento	42
5.1.3 Revestimiento.....	42

5.1.4 Huecos	45
5.1.5 Higroscopicidad de la madera	46
5.1.6 Peso de los paneles.....	47
5.2 Fijaciones entre panel de entramado ligero de madera y estructura de hormigón	49
5.2.1 Descripción del sistema de Arbonis/Vinci	49
5.2.2 Desarrollo de una solución	53
5.3 Fabricación y puesta en obra del panel	55
5.4 Planteamiento del cerramiento de paneles de entramado de madera en una vivienda social dominicana.....	59
6. Conclusiones	64
7. Anexos	67
8. Bibliografía	72

Resumen

Se evalúa la factibilidad del empleo de cerramientos no portantes de entramado ligero de madera en edificios residenciales con estructuras de hormigón armado en la República Dominicana, y sus ventajas y desventajas en comparación con el sistema usual de cerramientos de bloques de hormigón. Con esto se pretende ofrecer una alternativa a los métodos cotidianos y desmitificar la supuesta debilidad de la construcción en madera.

Esta evaluación se hace en base al impacto medioambiental, la resistencia a sismos y vientos y el comportamiento térmico propio de cada tipo de fachada, tomando en cuenta sus propiedades características y realizando una comparación paso a paso. La comparación del comportamiento frente a vientos, sísmico y del impacto ambiental de ambos sistemas de cerramiento se hace de forma teórica en base a investigaciones y datos obtenidos de varias fuentes.

Por otro lado, para analizar el comportamiento térmico se utilizan varios softwares que permiten determinar las diferencias en las temperaturas superficiales interior y exterior de ambos tipos de cerramiento, teniendo en cuenta los niveles

de radiación solar de la República Dominicana y haciendo énfasis en la importancia del confort térmico de los usuarios.

Se demuestra en base a estas comparaciones cómo los cerramientos de entramado ligero de madera son una opción no solo plausible sino más favorable que los cerramientos de bloques de hormigón frente a las condiciones propias del clima dominicano.

Por otra parte, se analizan diferentes opciones de fijación que pudiesen emplearse en el caso de los paneles de entramado ligero de madera, concluyendo en un tipo específico que garantizaría las prestaciones necesarias y la facilidad de puesta en obra.

Todo este análisis se realiza teniendo en cuenta las posibilidades de puesta en obra de un sistema tal en construcciones a pequeña escala en República Dominicana, evitando la necesidad de mano de obra especializada y posibilitando su realización tanto in-situ como en talleres artesanales con un bajo nivel de industrialización.

Summary

This paper consists in the evaluation of the viability of the use of non-bearing, lightweight wood-frame walls on buildings with reinforced concrete structures in the Dominican Republic, and their advantages and disadvantages compared to the usual system of concrete block walls. This is intended to offer an alternative to traditional methods and demystify the supposed weakness of timber construction.

This assessment is based on the environmental impact, seismic and wind resistance, and thermal behavior of each type of facade, given its properties and performing a step-by-step comparison. The comparison of performance against wind, seismic and environmental impact of both enclosure systems is based on theoretical data and research from various sources.

On the other hand, to analyze thermal behavior, different types of software are used to determine the differences in inside and outside surface temperatures of both types of enclosure, taking

into account the levels of solar radiation in the Dominican Republic and emphasizing the importance of the user's thermal comfort.

It is shown based on these comparisons how light wood-frame enclosures are not only plausible but more favorable than the concrete block walls against the conditions of the Dominican climate.

Moreover, different anchoring options for wood-frame lightweight panels are considered, concluding in a specific type that guarantees the necessary performance and ease of placement required.

This analysis is performed taking into account the possibilities of placing such a system on small-scale residential buildings in Dominican Republic, avoiding the need for skilled labor and enabling its realization both in-situ and in craft workshops with a low level of industrialization.

1. OBJETIVOS

Principales

El presente trabajo tiene como objetivo principal valorar la implementación de paneles de entramado ligero de madera como cerramiento en la construcción de edificios de baja altura en República Dominicana.

Se pretende fusionar la habitual estructura porticada de hormigón con un cerramiento ligero diseñado a partir de un material abundante en la isla, como lo es la madera, proporcionando una opción más conveniente que el tradicional cerramiento de hormigón en cuanto a comportamiento térmico y seguridad frente a sismos.

Por otro lado, evaluar la conexión de estos paneles a una estructura de hormigón armado mediante un sistema de fijación que posibilite la unión apropiada entre el panel y la estructura y permita resistir los posibles movimientos y deformaciones de ambos materiales.

Otros objetivos

Por otra parte, se pretende valorar el comportamiento térmico de los paneles de entramado de madera en comparación con el cerramiento tradicional del bloque de hormigón, y como varía el nivel de confort del usuario. Asimismo, se intenta presentar la posibilidad de prefabricación de estos paneles. La aplicación de un cerramiento prefabricado tiene la posibilidad de reducir costes, tiempo de montaje, mano de obra, además de permitir un control de calidad más alto en comparación a la construcción in-situ.

A partir de lo expuesto anteriormente, se pretende contribuir con una solución eficiente al problema de viviendas en República Dominicana, fomentando la construcción con sistemas ligeros y que permitan el ahorro energético.

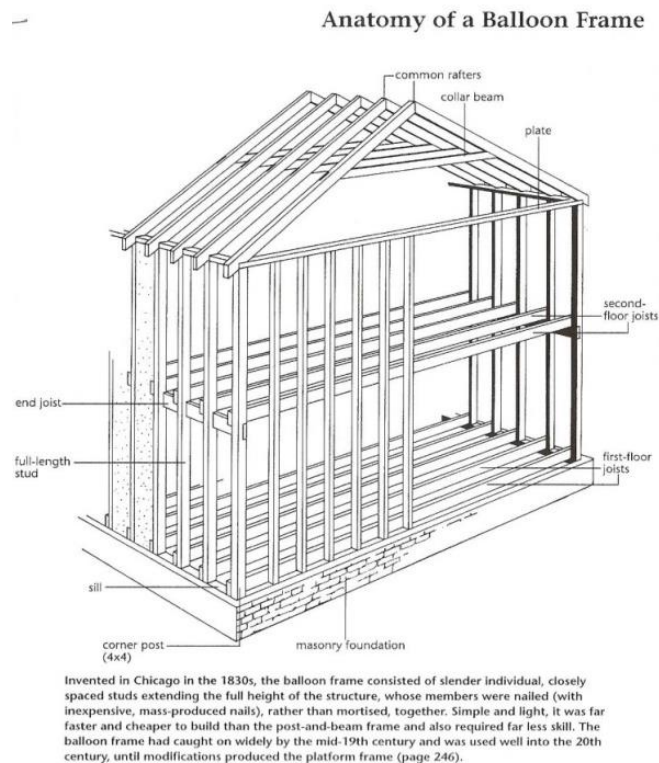
2. INTRODUCCIÓN

2.1. Acerca del uso de los paneles de entramado ligero de madera como cerramiento

La construcción con madera ha sido desde hace siglos la preferida en algunos lugares del mundo como Alemania, Escandinavia, Japón, Canadá y los Estados Unidos, donde la abundancia del material y la facilidad de su puesta en obra, además de sus propiedades resistentes, lo hacen idóneo para la elaboración de viviendas.

Los sistemas de construcción con madera han evolucionado de manera tal que hoy permiten la elaboración de estructuras complejas y de elementos ligeros, presentando un gran abanico de opciones constructivas.

Cada proyecto adopta un tipo de cerramiento que puede o no poseer función estructural dentro del sistema constructivo. El uso de la madera como cerramiento ha funcionado tradicionalmente como parte de la estructura portante de las viviendas. Sin embargo, hoy en día la



Configuración básica de un sistema de entramado
'balloon frame'

Fuente: Carley, 1994

madera, en sus diferentes formas, conforma también opciones de cerramiento ligero y no portante.

Se define cerramiento como “la disposición ordenada de materiales y elementos para garantizar en un edificio su protección ante los agentes exteriores” (Huete Fuertes, 1987).

Los cerramientos con entramado de madera surgieron como parte del sistema de ‘balloon frame’, introducido a principios del siglo XIX, el cual facilitó los procesos constructivos y presentó una alternativa más económica a la construcción con elementos de madera pesados. El ‘balloon frame’ y su derivado, el ‘platform frame’, utilizan madera aserrada para construir el esqueleto del edificio, generalmente viviendas de baja altura, y se apoyan sobre una base de concreto que compone los cimientos y mantiene la madera fuera de contacto con el terreno. Con estos sistemas el entramado de madera probó su resistencia estructural y su versatilidad, así como la posibilidad de uniones en seco de las diferentes piezas. (Obiso, 1997)

Los cerramientos de estos sistemas, cuyo esqueleto completo cumple las funciones estructurales, se realizan típicamente mediante la conexión en seco del entramado con tableros de madera o derivados. Esto crea una pared hueca que permite acomodar en su interior capas aislantes de variado grosor (Arnold, Chris, 2009).

Durante el desarrollo de la arquitectura en el último siglo, ingenieros y arquitectos se han inclinado hacia la búsqueda de soluciones industrializadas de fachadas no portantes, ligeras y montadas en seco (Rodríguez & Raya, 1996, 1).

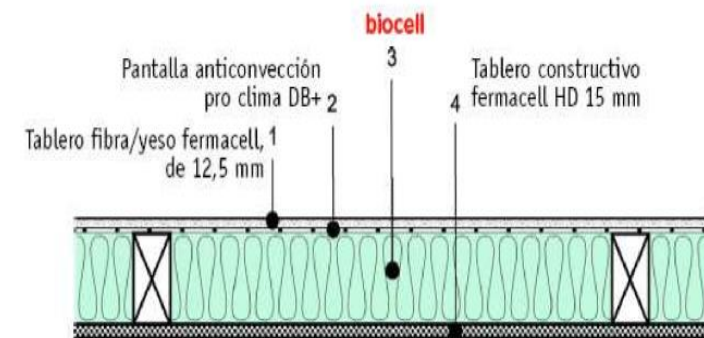
Como parte de esta tendencia hacia la industrialización y la prefabricación de elementos constructivos, en el caso de la madera se ha planteado desde hace décadas la elaboración en taller de paneles no estructurales tanto para cerramiento de fachada como para cubiertas y entrepisos. Estos están formados en su mayoría por dos caras de materiales derivados de la madera como plywood y OSB, entre las cuales se sitúa un material aislante como el poliestireno. Estos paneles proveen un cerramiento ligero, adaptable a diferentes

grosos de aislamiento y a múltiples opciones de revestimiento, y permiten acelerar el proceso constructivo.

En estudios recientes del Consejo Americano de Entramado de Madera se realiza la comparación entre dos casas idénticas, una construida con 'platform frame' tradicional elaborado in-situ y la otra con 'platform frame' que integraba cerramientos de paneles prefabricados de madera, concluyendo que el sistema que utiliza paneles reduce los tiempos de construcción hasta un 60 por ciento. (Wood Truss Council of America, 1996)

En el caso de los paneles sándwich de madera y centro de poliestireno expandido (R-32 a R-52), estos demuestran también un mejor desempeño en su resistencia térmica que los cerramientos del sistema de entramado estándar, debido principalmente a su mayor grado de estanqueidad al aire. Como resultado, los sistemas de acondicionamiento térmico pueden ser reducidos en un 50% de lo que presentaría el sistema de entramado tradicional (Automated Builder, 1994).

Los paneles de entramado de madera, además de las ventajas planteadas anteriormente, permiten diferentes



Ejemplo de paneles de entramado ligero
Biohaus. Sección horizontal. 2014



Construcción de edificio de oficinas con estructura de hormigón y cerramientos de entramado de madera en Lyon, Francia. Fuente: Vinci Immobilier

grados de prefabricación, desde el uso de marcos ligeros y tableros hasta la producción de módulos en serie y su posterior montaje en obra. Esto es un punto a favor en países con alto nivel de industrialización, pues permite la elaboración de las fachadas tanto en taller como in-situ. Asimismo, hace posible la intervención de mano de obra no especializada.

El planteamiento de paneles de entramado de madera como cerramiento no estructural, combinado con una estructura portante de hormigón o acero en edificios de varios niveles, se estudia desde mediados del siglo XX. Koncz afirma, en su 'Manual de la construcción prefabricada' (1975) que los paneles exteriores de grandes dimensiones pueden servir como arriostramiento en construcciones de esqueletos portantes, soportando la fuerza del viento y desviándola hacia los cimientos.

Por otro lado, el vertido del hormigón en obra permite, mediante los encofrados, crear las ranuras y entalles necesarios para la correcta adaptación de paneles de cerramiento, atendiendo siempre a la precisión de las cotas y el acabado de las superficies (Auvert & Nickels, s.f.).

En cuanto al uso de paneles prefabricados en la elaboración de fachadas dominicanas, podemos afirmar que en los últimos años se ha visto un incremento del uso de materiales ligeros, aunque en su mayoría son placas o paneles de materiales cementicios, instalados con subestructuras en perfilera de acero. La producción de elementos constructivos en madera ha quedado relegada debido principalmente a las dudas de los usuarios acerca de su resistencia.

Tanto en la República Dominicana como en gran parte de la región caribeña, la tradición colonial produjo viviendas de piedra caliza o ladrillo, techos de madera. Más tarde, en la construcción popular surgen estructuras y cerramientos también de madera. Aparecen las casas de tapial, material más usado para la construcción de viviendas de personas adineradas a mediados del siglo XIX (Prieto Vicioso, 1996), y los techos de planchas de zinc. Estas técnicas fueron combinándose paulatinamente con nuevos materiales a medida que se recibía la influencia de la industrialización europea.

En el siglo XX, la llegada del hormigón armado produjo en pocos años un cambio perceptible en la construcción en las ciudades, sustituyendo casi por completo el uso de la madera como estructura o cerramientos desde mediados del siglo XX.

Mientras, en las áreas rurales y en la arquitectura popular, la construcción en madera y otros materiales orgánicos como la tabla y la hoja de palma cana, la yagua y troncos finos leñosos seguía siendo predominante. Esto ha provocado que en la actualidad se perciba el uso de la madera, fuera de las carpinterías, revestimientos y detalles interiores como “un material para construcciones de lujo, o como un material de baja calidad utilizado en los ranchos o estructuras temporales habitadas por la población de los barrios marginales.” (Loreto, et al., 2000)

Hoy en día, los cerramientos utilizados en la mayoría de los edificios de vivienda son los muros de hormigón, ya sea en bloques o en paneles prefabricados. En el clima de estas latitudes, con temperaturas que oscilan normalmente entre los 20°C y 35°C y humedad relativa promedio de 80%, estos cerramientos pesados no permiten alcanzar el confort térmico en el interior de las viviendas. Los gruesos



Vivienda rural dominicana. Foto: Daniel de la Cruz, 2014



Arquitectura vernácula dominicana. Foto: Ely Conde, 2014

muros de hormigón, de gran inercia térmica, absorben el calor durante el día y lo despiden hacia el interior durante la noche, provocando un aumento de las temperaturas interiores.

Como vemos, la arquitectura vernácula consigue instintivamente adaptarse más a las temperaturas, utilizando materiales de baja conductividad térmica y que permiten en algunos casos, como en el tejamanil o entramado de maderos de caña, ventilar a través de los cerramientos no estancos. Sin embargo, este tipo de construcción es muy susceptible a daños por lluvias intensas y fuertes vientos.

El planteamiento de paneles de entramado de madera no portantes como cerramiento en edificios de vivienda en República Dominicana se deriva de la necesidad de encontrar alternativas que permitan aumentar el confort térmico del interior de las viviendas mediante la reducción de la masa y de la inercia térmica de los cerramientos.

No es suficiente la implementación de soluciones de cubierta como el ajardinamiento (Rivera, 2015), sino que es necesario recurrir a soluciones de fachada para disminuir la captación de calor de las viviendas y por consiguiente el consumo energético de las mismas.

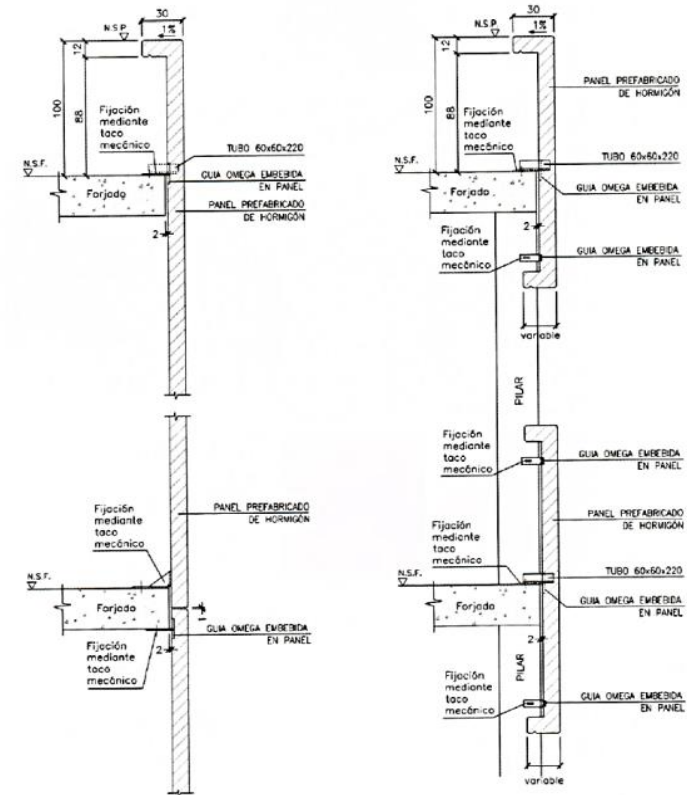
Sin embargo, el desarrollo y la aplicación de sistemas de construcción con cerramientos ligeros, ya sean prefabricados o elaborados in-situ en la República Dominicana se ha visto coartado por el tradicionalismo, tanto de parte de los constructores como del público en general, quienes aún desconfían de la solidez y resistencia de estos sistemas frente al embate de huracanes y sismos.

2.2. Acerca de los anclajes utilizados para este tipo de cerramientos

Los anclajes son las piezas que permiten la unión entre un elemento y su soporte, y la transmisión de las cargas de dicho elemento a la estructura. La normativa francesa define anclar como “la acción física realizada para asegurar definitivamente un punto de fijación direccional o multidireccional, en un soporte de naturaleza y resistencia normalmente conocidas o cuantificables” (Documentation Française du Batiment, 1980).

Los sistemas de fijación seca se basan en conectores o perfilera metálica, colocados mediante atornillamiento, soldadura o taquetes químicos. Pueden clasificarse según varios criterios. La documentación francesa los clasifica según las cargas que soportan en:

- Pesados, los cuales soportan cargas muy fuertes bajo condiciones de servicio que podrían ser severas como vibración y corrosión.
- Semi-pesados, que soportan cargas importantes bajo condiciones de servicio normales.



Ejemplo de fijaciones para paneles prefabricados de hormigón en fachadas.

Fuente: Koncz. Manual de la construcción prefabricada. 1975

- Ligeros, los cuales permiten soportar cargas medias o ligeras bajo condiciones normales. Este tipo de anclaje puede ejecutarse tanto en soportes homogéneos como en elementos de soporte compuestos o heterogéneos, cuya resistencia resulta poco importante. En

el caso de los paneles de entramado ligero de madera, trataríamos con este tipo de anclaje.

- Los anclajes ligeros poseen característicamente secciones de pequeña longitud, y sus pernos suelen tener un diámetro menor a 10mm.

Cada tipo de panel, ya sean paneles de fachada, de cubierta o entrepiso, suele tener un tipo de fijación específica predeterminada por el fabricante. La elección o diseño de los anclajes se realiza considerando tanto las cargas gravitatorias y eólicas como el material del soporte y la composición del elemento a fijar.

Las diferentes fuentes coinciden en la mayoría de los requisitos para el diseño de un buen sistema de fijación, independientemente del soporte o la naturaleza del anclaje.

Entre estos, enumeran:

- Resistencia al fuego
- Resistencia a la corrosión
- Permitir ajustes en distintas direcciones
- Montaje sencillo

- Tolerar deformaciones de la estructura de soporte y variaciones higrométricas del panel

Uno de los aspectos de mayor importancia en el diseño de fijaciones son las tolerancias. Es necesario que las fijaciones permitan el ajuste de los elementos en fachada en las tres direcciones durante su montaje. De igual modo cabe considerar posibles desviaciones en la ejecución de la estructura que obliguen a la rectificación de la posición de los paneles. Koncz (1975) recomienda para estos fines el uso de angulares de acero y ranuras alargadas para el anclaje.

De igual forma, las fijaciones deben permitir el movimiento de la pieza, de manera que esta pueda resistir vibraciones y deformaciones ligeras, tanto del panel como de la estructura de soporte. Un panel ligero puede estar colgado por fuera de la estructura, pasando de forma continua por delante de los forjados del edificio, o apoyado en la misma, colocado entre dos forjados. En ambos casos, esto significa que el panel de fachada queda afectado por las deformaciones que pudiera sufrir el forjado. "La sujeción actual ha de continuar uniendo de forma especial el conjunto de capas que constituyen la

fachada y debe también unirla a la estructura posterior para estabilizarla frente a las cargas eólicas y sísmicas, y ha de evitar que la fachada entre en carga como resultado de las deformaciones de la estructura” (Avellaneda, 1992).

Como afirmamos anteriormente, los soportes de hormigón permiten el embebido o entallado de piezas de fijación, cuya correcta colocación afecta perceptiblemente la resistencia del conjunto. Las fijaciones incorporadas al hormigón consisten de dos partes: una que se implanta en el hormigón al momento del vertido, compuesta por el cuerpo de fijación (perfil o guía) y más tarde el anclaje en forma de perno o taco; y una parte que se conecta al elemento a fijar. Existen también sistemas de fijación que son colocados luego del fraguado del hormigón mediante la creación de agujeros en los cuales se coloca el anclaje, fijando una platina exterior.

De cualquier manera, las fijaciones deben ser diseñadas de manera que la ruptura del anclaje no represente jamás una ruptura del cuerpo de hormigón que lo soporta (Documentation Française du Batiment, 1980).



Ejemplos de anclajes y taquetes de expansión mecánicos (primero y segundo desde la izquierda) y de fijación química (tercero y cuarto)

Fuente: GIP Facades

Los pernos de anclaje de estas fijaciones pueden clasificarse, según el fabricante 'Spit' en:

- Anclajes de expansión por atornillado
- Anclajes de expansión por golpeo
- Anclajes por enclavamiento de forma
- Anclajes de plástico con elemento de expansión
- Anclajes de fijación química

Se utilizan diferentes fórmulas para calcular la resistencia necesaria de la fijación y el diámetro de los pernos de anclaje, dependiendo del tipo de soporte, el tamaño de los paneles y las cargas gravitatorias y eólicas a las que estarían sometidos. El cálculo de las solicitaciones de carga en estado límite para cargas a corte y a tracción se hace mediante las fórmulas establecidas por el Eurocódigo, el cual establece que, en el caso más simple, se determina por la fórmula:

$$S_d = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

Donde 1,35 y 1,5 son coeficientes parciales de seguridad,
 G es la carga permanente y
 Q es la carga variable

El valor de las solicitaciones (S_d) debe ser siempre menor a la resistencia del anclaje en su estado límite último (R_d).

El cálculo de los anclajes se hace basándose en el panel más desfavorable en la obra, y la colocación se hace de forma simétrica. Las cargas se dividen entre el total de piezas.

Existen varias reglas acerca de la colocación de los puntos de fijación. Unos afirman que el punto idóneo se encuentra a 1/5 de la luz total del panel, considerada zona de momento nulo (Sanchez Hurtado, 2010). Otros afirman que, en el caso de que se utilice una subestructura de soporte, la posición de las fijaciones debe corresponder a 1/10 de la longitud total de los travesaños (Zamora & Calderón, 2005).

Los perfiles, guías o conectores metálicos que componen las fijaciones deben ser de acero inoxidable o estar galvanizados para evitar la corrosión. Se sugiere evitar la soldadura en puntos de difícil acceso.

Las fijaciones pueden ser vistas o invisibles. En el caso a considerar, la visibilidad de los elementos de fijación es de poca relevancia dado a que se prevé la aplicación de revestimientos tanto en el interior como en el exterior.



Proyecto habitacional (arriba, centro) y escuela (debajo) con estructuras de hormigón armado y cerramiento con paneles de entramado de madera.

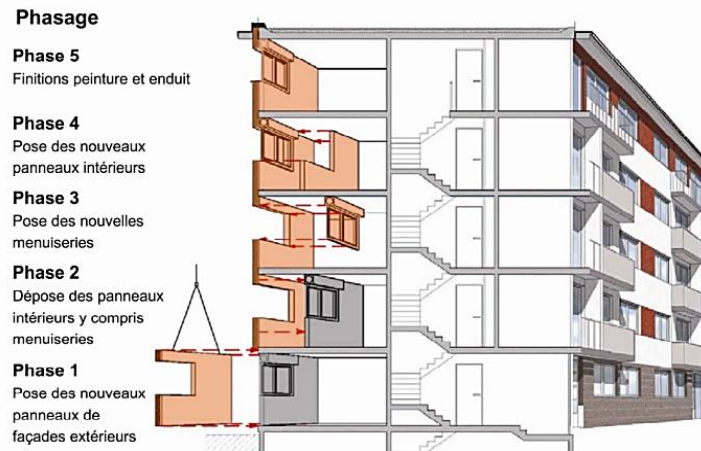
Géra Architectes, 2011; Emmanuelle Patte, 2011

3. ESTADO DEL ARTE

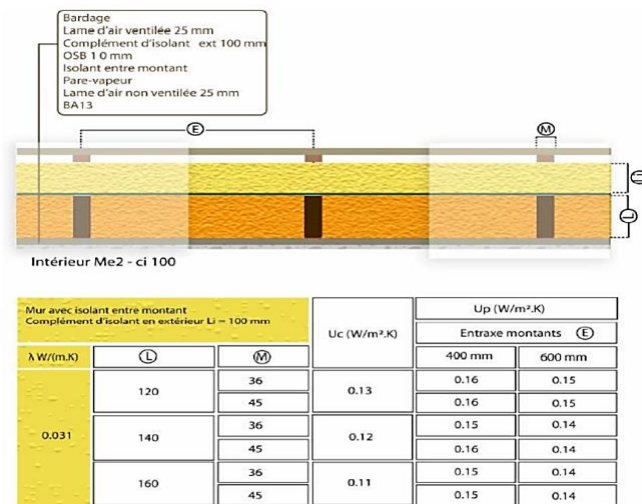
Acerca del acoplamiento de paneles de madera como cerramiento en edificios con estructura de hormigón podemos encontrar varias investigaciones, especialmente francesas, las cuales aseguran que tanto en casos de nueva construcción como en casos de rehabilitación la implementación de fachadas de madera permite mejorar el confort térmico y aumentar el ahorro de energía.

La arquitecta francesa Hélène Sclafer, de la firma Géra Architectes, afirma en una entrevista (Molino, et al., 2011) que el costo del metro cuadrado de muro de entramado de madera es casi igual al de muro de bloques de hormigón. Concluye, sin embargo, que la implementación del muro de entramado de madera conlleva una mayor rapidez de montaje y beneficios medioambientales que los cerramientos en hormigón no ofrecen.

En su artículo "Facade: Mur-rideau en bois sur structure béton", Idir Zebboudj (2011) afirma que la construcción mixta con estructura de hormigón armado y



Colocación de cerramientos con paneles de madera en edificio de viviendas de baja altura, hecho en hormigón con encofrado túnel. Scopa. París, 2009



Extraído del catálogo CNDB. Febrero, 2012

cerramientos de madera va haciéndose camino como respuesta a cuestiones bioclimáticas. Pone como ejemplo el caso de los edificios de viviendas de Val-del-Marne, realizados por Géra Architectes.

Por otro lado, la ATEX, en un artículo que comenta la construcción de residencias estudiantiles en París, afirma que "la llegada de la madera en los mercados de muros de cerramiento aparece como una prueba suplementaria de la inventiva y el profesionalismo (...). En un área reservada hasta ahora al acero y el aluminio, la madera expande las posibilidades de concepción de fachadas gracias a la combinación de desarrolladas prácticas técnicas y su calidad medioambiental".

Como podemos observar, la combinación de cerramientos de entramado de madera en edificios con estructura de hormigón armado es un tema relativamente reciente, pero cuyos beneficios de uso son fácilmente perceptibles.

La mayoría de los sistemas propuestos o implementados en las investigaciones mencionadas anteriormente utilizan los paneles de madera en forma de

muros-cortina, colocándolos por delante de los forjados. Fabricantes como Panoblock® y Socopa® ofrecen sistemas de muro cortina con paneles de madera de grandes dimensiones, para ser adaptados a estructuras de hormigón armado o acero.

Julien Oudet (2013), ingeniero francés, realizó una memoria en la cual analiza la adaptación de cerramientos de entramado de madera a estructuras portantes de hormigón armado. En la misma sostiene la viabilidad de esta mezcla de sistemas, tanto en el ámbito constructivo como en el ámbito económico, respondiendo a las exigencias constructivas y normativas cada vez más elevadas. Oudet afirma que el consumo de energía necesario para la fabricación de los productos de madera es el más bajo, en comparación a otros materiales de construcción como el hormigón y el acero. Señala también el ahorro de tiempo y recursos por la facilidad de la puesta en obra de paneles de entramado de madera, en comparación con la pared de bloques de hormigón.

Caroline Lang, en su tesina 'Facade bois: applications et performances', concluye que las fachadas de entramado de madera presentan un alto interés en cuanto al ahorro

energético. Según este autor, debido a la baja inercia térmica de los cerramientos de madera, la transmitancia térmica de la fachada dependerá en gran medida de la elección del aislamiento. Lang realiza una comparación en la cual sostiene que para una fachada de entramado de madera con $Up=0.15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ (Up =pérdida de calor de la superficie final) se necesitaría un grosor de aislamiento de 22cms, mientras que para alcanzar el mismo valor de Up en un paramento de hormigón se necesitarían al menos 20cms de hormigón y otros 23cms de aislamiento de lana de roca.

Por otro lado, cabe mencionar varias investigaciones realizadas con el fin de mejorar el confort térmico interior en las viviendas dominicanas. La arquitecta Chanely Rivera (2015) desarrolló una tesina en la que plantea los beneficios de los techos ajardinados en el clima dominicano. En la misma concluye que los techos verdes no aportan una disminución significativa de las temperaturas interiores, ya que "los muros del sistema constructivo aplicados a la vivienda social estudiada de 10cm de hormigón armado no son los ideales para este tipo de vivienda en cuanto al confort térmico, debido a su comportamiento de acumulación de inercia térmica, la

cual crea una ganancia de calor al interior de la vivienda al momento en que se reduce la temperatura exterior”.

Luis Gedeón (2013) realizó una comparación entre la temperatura interior de una vivienda con cerramientos de bloques de hormigón y una con cerramientos de tejamanil, o astillas de madera trabadas en cortes delgados, y concluyó en base a sus resultados que la vivienda de tejamanil mantiene temperaturas más confortables y estables todo el año que aquella de bloques de hormigón. La de hormigón presentaba temperaturas significativamente más altas en verano, y más bajas en invierno.

De la misma manera, el Arq. Kelvin Rafael Méndez Lora, en su trabajo de máster titulado Paneles Estructurales de Poliestireno Expandido: Análisis energético en el clima tropical- húmedo de Santo Domingo y aplicado a la vivienda social (caso sistema EMMEDUE), analiza la eficiencia térmica del sistema P.E.P.S. y su posible aplicación en la construcción de la vivienda social dominicana. En su trabajo concluye, mediante pruebas con el software DesignBuilder, que estos paneles de

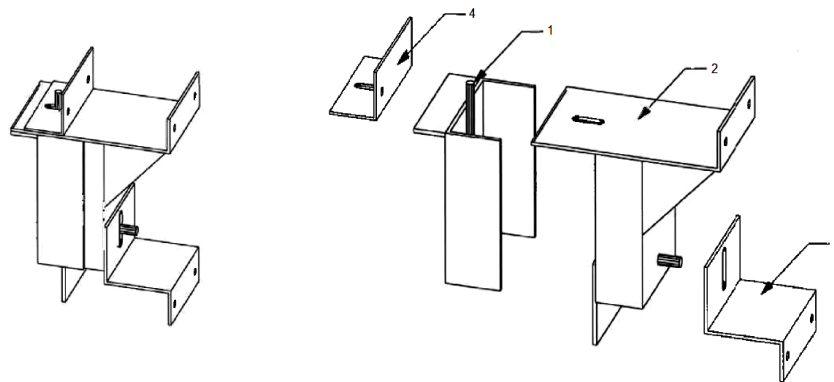
poliestireno expandido presentan un comportamiento térmico más beneficioso que el muro de bloques de hormigón tradicional.

Acerca del comportamiento de estos paneles frente a sismos, Chris Arnold (2009) afirma que la resistencia sísmica de los elementos de entramado de madera es relativamente alta debido a que, al tener tan poco peso, se reducen las fuerzas sísmicas en la estructura. Opina que estos elementos ligeros de fachada ayudan a disipar la energía del sismo.

Los fabricantes de cada tipo de panel suelen sugerir el anclaje más adecuado para el mismo. La constructora francesa Vinci, en su rama de construcción en madera Arbonis, ha desarrollado un sistema de fijación puntual específicamente diseñado para la adaptación de sus paneles de madera a estructuras de hormigón, teniendo en cuenta las diferentes tolerancias dimensionales de ambos materiales. La misma permite el ajuste milimétrico de los paneles y la corrección de las variaciones de la losa de hasta 2cm. Esto ha resultado crucial para conseguir la planeidad de sus fachadas.



Otros sistemas de fijación desarrollados por Arbonis.
Fuente: Vinci, 2011



Sistema de fijación de paneles Arbonis. Vista en planta y explotada. (Oudet, 2013)

Patricia Balandier, en un informe para la DDE Martinique, señala que las fijaciones mecánicas no adheridas realizadas con elementos metálicos se consideran como semi-rígidas y pueden deformarse. La deformabilidad de las fijaciones puede utilizarse como una ventaja en situaciones sísmicas. Por tanto, la resistencia última de la madera debe ser superior a aquella de los anclajes. Por último, sugiere que el clavado múltiple sobre una superficie importante permite la repartición de los esfuerzos sobre los múltiples puntos de fijación de la superficie.

El popular fabricante de piezas y conectores de acero Simpson Strong-Tie ha diseñado también varios conectores para fijar paneles de madera a bases de hormigón. Una de las piezas, hecha en acero galvanizado, posee un grosor de 2mm y medidas de 190x190x118mm. Sus agujeros permiten la adaptación a múltiples configuraciones de fijación. Puede ser anclado a la losa de hormigón de manera mecánica o con taquetes químicos. El segundo tipo, de menores dimensiones, posee 3mm de grosor y está hecho también en acero galvanizado.

En cuanto a fijaciones con resistencia sísmica diseñadas especialmente para sistemas en madera, Simpson ha diseñado algunas como el tipo AH, concebida para reforzar los ángulos de muros de entramado de madera sometidos a esfuerzos de levantamiento, impidiendo dicho levantamiento y ofreciendo un importante recobro de las cargas de tracción. Por otro lado, han desarrollado también taquetes de anclaje químico como el Boa-X y resinas, como la SET-XP, que pueden ser utilizadas en zonas con riesgo de sismo o fuertes vientos.



Conectores Simpson Strong-Tie para paneles de madera.
Fuente: Catálogo Simpson



Conector Simpson Strong-Tie tipo AH para paneles de madera en zonas sísmicas
Fuente: Catálogo Simpson

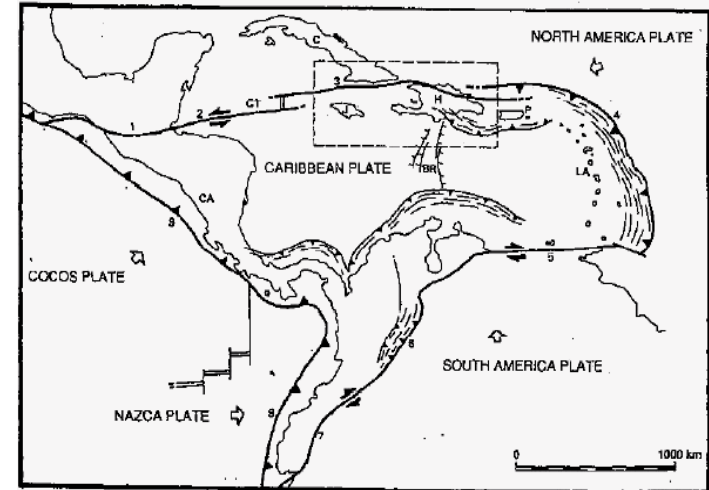
4. COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS PANELES DE ENTRAMADO LIGERO DE MADERA COMO CERRAMIENTO

4.1. Comportamiento frente a sismos

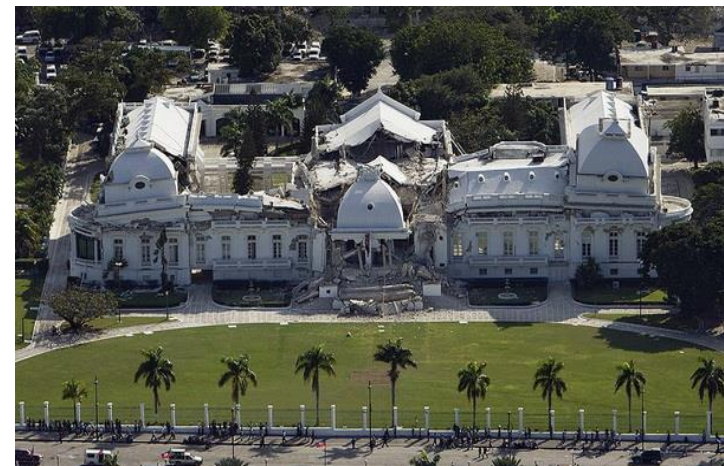
La República Dominicana se encuentra en un área de riesgo sísmico. La isla se encuentra en el límite entre la placa de Norteamérica y la placa del Caribe.

Al mismo tiempo, está cortada en dirección noroeste-sureste por ocho fallas regionales, causante de los movimientos registrados. Los movimientos sísmicos más recientes han estado por debajo de los 6.0 puntos en la escala de Richter. Sin embargo, solo hace falta ver los daños causados por el terremoto de 2010 en Haití (7.3 en la escala Richter), en la parte oeste de la isla, para ser conscientes del peligro que representan los sismos para las estructuras.

Los sismos producen esfuerzos tanto horizontales como verticales en la estructura. La transmisión de los esfuerzos al suelo es proporcionada por los esfuerzos cortantes entre las puntas o tornillos y losas, y por la



Situación de la isla de La Hispaniola con respecto a las placas tectónicas



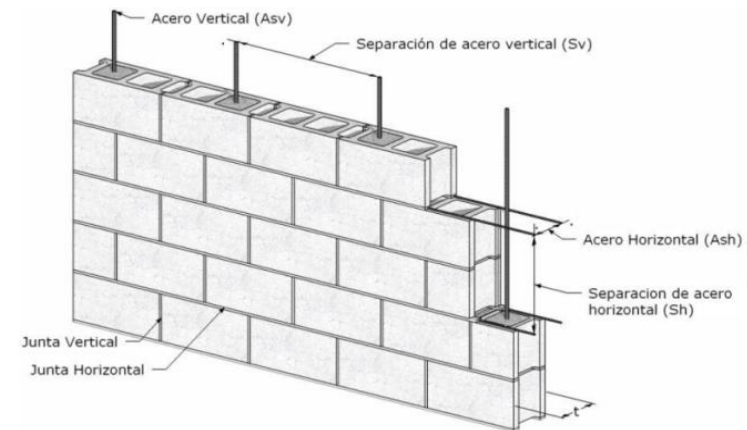
Estado en el que quedó la casa de gobierno de Port-au-Prince luego del terremoto del 12 de enero de 2010. Fuente: Logan Abassi, UNDP Global

tensión/compresión entre los elementos verticales y fundaciones, losas, muros o pilotes. Esta transferencia de cargas en la estructura se hace posible por una rigidez suficiente de cada elemento.

En República Dominicana ha entrado en vigor en 2011 una normativa que regula el análisis y diseño sísmico de estructuras. Sin embargo, la misma no contempla los elementos no portantes. Por tanto, no se han normalizado los requisitos de cerramientos no estructurales.

En las paredes de mampostería de bloques de hormigón, las juntas constituyen los puntos más débiles. Debido a esto, la resistencia sísmica dependerá también en gran medida de la resistencia del mortero. Estos muros son generalmente reforzados mediante la introducción de barras de acero y el relleno de sus huecos con mortero, lo cual provee una mayor estabilidad. Estos refuerzos hacen la diferencia entre recibir y disipar la energía, o fallar y colapsar (Ayala, et al., 2012).

Las fallas en este tipo de muro son generalmente causadas por la combinación de grietas por tensión y desprendimiento de la pieza y el mortero. Debido a esto



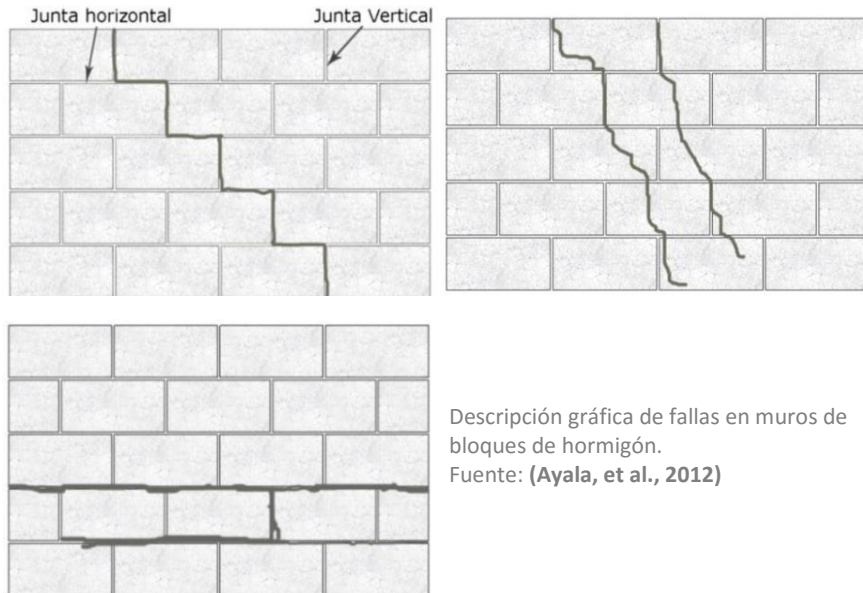
Mampostería de bloques de hormigón reforzada con barras de acero

Fuente: (Ayala, et al., 2012)

tienden a aparecer, bajo los efectos de un sismo, rajaduras en las juntas entre bloques o entre el muro y la estructura.

Las fallas en los muros de bloque de hormigón pueden ser de varios tipos:

- Por cortante en las juntas
- Por tensión diagonal
- Por compresión
- Por flexión



Según investigaciones realizadas por la Universidad de El Salvador, el tipo de falla más común es la falla por cortante, por el deslizamiento a lo largo de las juntas horizontales. Esta se extiende siguiendo un patrón escalonado, debilitando el muro y pudiendo generar el colapso del mismo. Los refuerzos en acero ayudan a retrasar la aparición de estas fallas por su ductilidad y su absorción de energía, pero no las evitan completamente.

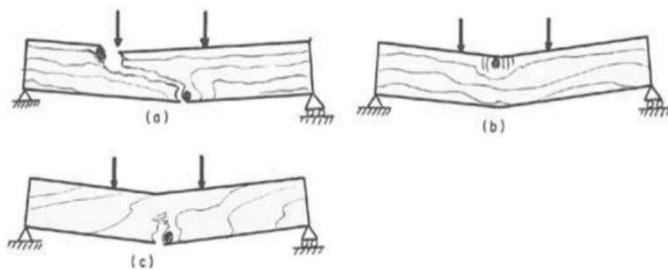
El esfuerzo a compresión que sufren los muros portantes ayuda a mantener su integridad durante un sismo, ya que aumenta la fricción entre la pieza y el mortero, limitando el desplazamiento horizontal y ofreciendo mayor resistencia a los esfuerzos cortantes. De esta forma, cuando consideramos los muros no portantes como cerramiento en edificios, nos arriesgamos a un mayor nivel de agrietamiento y un posible colapso en menor tiempo.

Por otro lado, los paneles de entramado de madera, al no cumplir una función estructural en el caso que proponemos, no colaboran directamente con la estructura en el soporte de las cargas. Su aporte se halla en su ligereza. Al no aportar mayores cargas a la estructura, permite que esta se desempeñe mejor bajo efectos sísmicos.

La madera se considera un material ortotrópico. Esto significa que su dureza, fuerza y ductilidad dependerán del tipo y la dirección del esfuerzo al que se someta. En muchos casos la madera es percibida como un material frágil. Sin embargo, si se diseña correctamente, puede

presentar un comportamiento dúctil, especialmente en compresión perpendicular a las fibras.

Característica muy importante en las consideraciones sísmicas, la ductilidad de una estructura o un elemento es su capacidad de disipar energía mediante su deformación, sin aumentar de manera importante sus esfuerzos internos. Se define como la relación entre la deformación que tiende a la ruptura y la deformación hasta el límite elástico (Crittbois, 2014). La madera es un material de poca ductilidad comparada con el acero o el plástico. Sin embargo, en comparación con el hormigón, material frágil, presenta una mucho mayor capacidad de deformación y absorción de energía. Esto la hace más apropiada para resistir las cargas de un sismo.



Los fallos en la madera dependerán también de los nudos de la misma.
Fuente: Ayala et al, 2012

Asimismo, la madera es un material resiliente, el cual soporta un nivel elevado de vibraciones sin alteración. Su rigidez y resistencia se ven poco afectadas por las cargas cíclicas de baja duración.

La resistencia sísmica de un panel de entramado de madera dependerá también en gran medida de las uniones entre sus piezas. En conexiones de tipo clavija, el fallo será frágil si se producen rajaduras prematuras o fallos en el área de la conexión. Fijaciones esbeltas y el cuidado en el espaciamiento de las fijaciones reducen el riesgo de fallas frágiles. Adicionalmente, fijaciones capaces de transferir fuerzas axiales como pernos y tornillos son menos propensos a producir rajaduras y fallos frágiles (Pirinen, 2014).

A partir de lo antes mencionado, podemos concluir que los cerramientos con paneles de entramado de madera tienen la capacidad de responder a esfuerzos sísmicos de forma más apropiada que los cerramientos de muro de hormigón, debido a las características propias del material.

4.2. Resistencia a vientos

La constante amenaza de huracanes en la isla de la Hispaniola hace que resulte prioritaria la consideración de la resistencia a fuertes vientos de los cerramientos empleados. Particularmente, la ciudad de Santo Domingo es azotada por un huracán en promedio cada 3 años. La velocidad de los vientos en huracanes puede alcanzar los 250km/h, con ráfagas de hasta 360km/h.

Tomando como referencia el Código Técnico vigente en España, el coeficiente de exposición para la ciudad de Santo Domingo, con una altura de 14mts sobre el nivel del mar, sería de 3.3, lo cual es bastante alto en comparación entre las situaciones descritas en la normativa. A mayor exposición, mayor la velocidad y presión que puede ejercer el viento. La velocidad de viento promedio en Santo Domingo es de 14.8km/h.

La presión que ejerce el viento sobre un cerramiento varía al cuadrado de la velocidad. Vientos de 160km/h ejercen una presión de 195kg/m^2 , mientras que a una velocidad de 250km/h ejercen una presión de 397kg/m^2 .



Estructura dañada por los vientos del huracán Iván (2004) en Pensacola, Florida.

Fuente: Mark Wolfe, FEMA



Muro de bloques de hormigón colapsado.

Fuente: city-data.com

Cabe considerar que los vientos durante un huracán se sostienen durante largos períodos, cambian lentamente de dirección y muchas veces acarrean escombros, lo cual puede causar daños mayores en los edificios de viviendas.

Como hemos descrito en el apartado anterior, el comportamiento de los cerramientos no portantes de bloques de hormigón frente a cargas horizontales es significativamente inferior a aquel de los cerramientos con paneles ligeros de madera. Dicho esto, los posibles refuerzos de acero en la mampostería de hormigón le aportan mayor resistencia frente a empujes laterales.

Por otro lado, la consistencia del hormigón le hace más resistente frente al impacto de escombros que vuelan en la brisa de los huracanes. Experimentos conducidos por la Universidad de Texas demuestran cómo los cerramientos de hormigón sobreviven a estos impactos con daños menores, mientras que los cerramientos de entramado de madera ofrecían poca resistencia a estos 'proyectiles'.

Estudios de casos en la Florida consideran que las viviendas con cerramientos portantes de bloques de

hormigón tienden a presentar menos daños que aquellas con estructura de balloon frame (Federal Emergency Management Agency, 1986). Se observó también que las principales razones de fallas en estructuras y cerramientos de mampostería fueron la ausencia de refuerzos verticales, baja calidad del mortero y falta de vigas de arriostramiento.

En el caso de daños a estructuras de entramado de madera, Khan y Suaris (1994) observan que dichos daños son causados, en la mayoría de los casos, por violaciones a las normativas de construcción norteamericanas. Entre estas, la falta de conexión apropiada entre el entramado de un nivel y siguiente, el empalme o aserramiento inapropiado de los miembros, la falta de solape de las placas en las intersecciones y la falta de observación en el clavado de los revestimientos y espaciamiento de los montantes. Asimismo, las conexiones resistentes a esfuerzos cortantes eran inexistentes o inapropiadas.

Refiriéndose específicamente a los cerramientos de entramado de madera, se observaron pocos fallos en sus componentes, excepto en el caso de daños por impacto de escombros. En los casos en que sí hubo fallas, usualmente

fueron causadas por el sistema de fijación o por la ausencia del revestimiento de OSB o plywood que requieren las normativas (Ayscue, 1996). FEMA (1986) recomienda, para evitar el fallo de los cerramientos y estructuras de entramado de madera frente a acciones de viento, la colocación de elementos de arriostramiento. Entre estos mencionan los listones de madera colocados de forma diagonal, las cruces de San Andrés elaboradas con tiras de acero, o tabloncillos de madera que revistan y rigidicen la estructura interior.

Las paredes de bloques de hormigón presentan la ventaja de ser más robustas y presentar menos elementos de conexión. Sin embargo, necesitan ser reforzadas, tanto con acero vertical como con relleno de los huecos y con la implementación de vigas de amarre para poder resistir las potenciales cargas de sismo y de viento propias de la República Dominicana.

Ayscue opina que “de todos los materiales de construcción para viviendas, la mampostería no reforzada es el más vulnerable a fuerzas exceptuando la gravedad. Las paredes de mampostería simplemente no pueden resistir las fuerzas laterales de un huracán”.

4.3. Impacto ecológico

Árbol de *Pinus occidentalis*



Pino Criollo, fuente: FAO

El cultivo controlado de madera en la República Dominicana es un tema delicado, dado que la deforestación es la mayor causa de los problemas de suelo y de sequía en el territorio. La práctica común del aprovechamiento de la madera sin el correspondiente repoblamiento redujo gran parte de la zona boscosa de la isla. Se calculó, en 1996, que anualmente se perdían 24.6km² de zonas con flora maderable.

A mediados de los años 90, la tasa de deforestación general alcanzaba los 80km² anuales. Por consiguiente, se han creado zonas protegidas y parques nacionales dentro de los cuales el aprovechamiento de los recursos forestales para uso comercial está prohibido. Cerca del 50% de las áreas forestales remanentes se encuentran dentro de estos parques (Subsecretaría de Estado de investigación, extensión y capacitación agropecuaria, 1996).

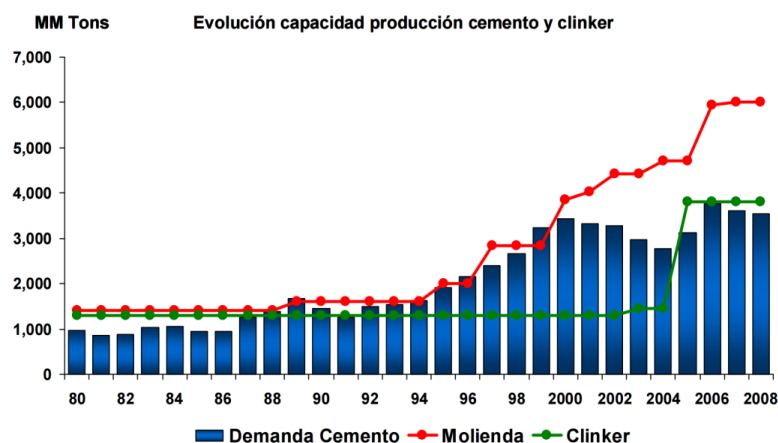
En la actualidad, se desarrollan programas de regulación y control de cultivos maderables en zonas no protegidas para su uso comercial. La especie más importante para estos fines es el *Pinus Occidentalis*, especie de conífera endémica de la República Dominicana. El bosque de coníferas cubre una superficie de 3,315.57 km², siendo esto el 17.52 % del total de bosque y un 6.87% respecto a la superficie que del país. El Pino Caribe representa un 25% de las especies plantadas, y el Pino Criollo un 7% (Rodríguez, 2004).

La FAO afirma que la República Dominicana carece del equipamiento necesario para el aprovechamiento de

los residuos del aserrío, por lo cual se reduce la rentabilidad de las operaciones. Asegura también que hasta el 2002, el suministro de productos derivados de la madera había estado dominado por las importaciones. Para el 2002 se comercializaban anualmente 33,462.38m³ de madera criolla anual. Sin embargo, a partir del 2000 se ha iniciado una estrategia de desarrollo del sector forestal con miras hacia la autosuficiencia del mismo en un período de veinticinco años.

En cuanto al cemento, la República Dominicana pasó rápidamente de ser un importador de cemento a producir e incluso exportar cerca de un 30% de su producción. En el país operan seis plantas productoras de cemento. Hoy en día se producen 7 millones de toneladas métricas anuales de cemento Portland (Severino, 2013).

La extracción de materiales y agregados para la fabricación de cemento y hormigón en la isla ha sido objeto de debate desde hace décadas, dada la degradación que provocan los dragados en los lechos de



Fuente: MicroFinanzas (2009)

Material	Energía (Mj/kg)	CO ₂ emitido (kg)
Madera de pino	9	0.4
Tablero OSB	36.0	0.29
Hormigón	0.75	0.135
Bloque de hormigón	0.94	0.073

los ríos y la contaminación que generan estas fábricas. Sin embargo, según cifras del 2014, la República Dominicana produce actualmente más cemento per cápita que ningún otro país de América Latina. Asimismo, dado el desarrollo en el sector de la construcción, la demanda de cemento Portland en ese año aumentó en un 25%.

El impacto ambiental de los materiales puede medirse teniendo en cuenta la cantidad de energía consumida en su fabricación y la cantidad de CO₂ emitido durante la misma. Se toma como base la fabricación de 1kg del material, o la masa de 1m³ del mismo.

Según los datos obtenidos, la cantidad energía utilizada y de CO₂ emitido por kilogramo de madera de pino es mayor a aquella de la fabricación del kilogramo de bloque de hormigón. Sin embargo, debemos tomar en cuenta que la densidad de la madera es mucho menor a la del bloque de hormigón, por lo cual en la construcción de cualquier edificio se utilizará más del triple de masa de hormigón de la que se utilizaría de madera.

Asimismo, cuando comparamos la contaminación del aire y del agua que producen ambos materiales

podemos apreciar que el uso de madera resulta mucho menos dañino al ambiente.

Por otro lado, es importante considerar que la creación de estos paneles en taller representa la posibilidad de disminuir la cantidad de desechos de obra.

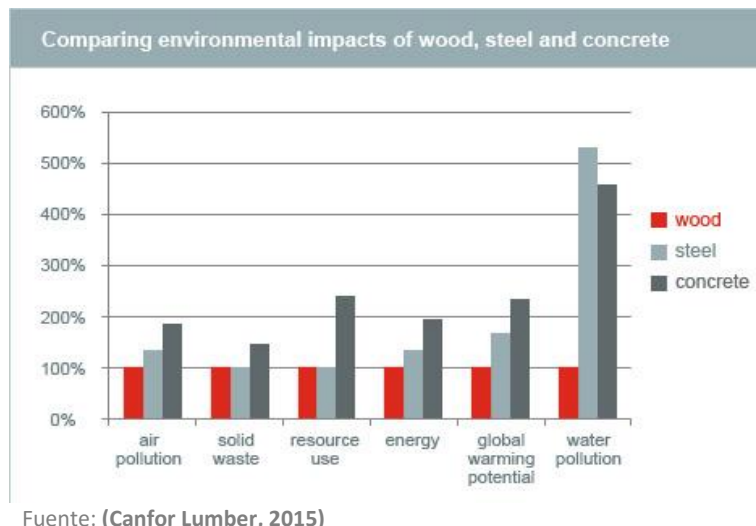
De igual manera, su montaje en seco hace posible el desensamblaje y la reutilización de sus componentes al final del ciclo de vida del edificio. Mediante estos datos podemos concluir que el impacto ecológico del ciclo de vida del bloque de hormigón es mucho mayor a aquel de la madera aserrada, por tanto resulta más conveniente la

utilización de ésta última como material de construcción para preservación del medio ambiente.

4.4. Confort térmico y temperatura radiante

El confort térmico se define como el estado en el cual la temperatura, la humedad y la velocidad del aire permiten una sensación de bienestar térmico, en complemento con los mecanismos de autorregulación del cuerpo. Este estado es en gran medida subjetivo, y se valorará teniendo en cuenta la actividad realizada por el usuario.

Las investigaciones acerca de este concepto comenzaron con la implementación de sistemas de acondicionamiento de aire. Con el fin de determinar la temperatura más agradable para el usuario se desarrollaron varios métodos como el de la 'temperatura efectiva' de Yaglou. Sin embargo, estos primeros métodos obviaban la valoración de parámetros importantes como la vestimenta o la actividad realizada por el usuario, lo cual limitaba su aplicación (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1983).



En los años 70, P.O. Fanger desarrolla su obra 'Thermal Comfort', en la cual propone un método para la valoración del confort térmico que recoge casi todas las variables posibles, integrándolas para obtener un resultado más preciso.

Hoy en día sigue utilizándose este método para el desarrollo de las normativas europeas. El mismo toma en cuenta las siguientes variables:

- Nivel de actividad y vestimentas del usuario y características de sus vestimentas
- Temperatura y velocidad del aire, donde la temperatura del aire determinará el intercambio de calor entre éste y el individuo mientras que su velocidad aumentará o disminuirá la velocidad a la que se evapora la transpiración.
- Temperatura radiante, que es el intercambio de calor entre las superficies del ambiente.
- Humedad relativa, o el porcentaje de humedad en el aire respecto al máximo admitido a una temperatura del aire x . De este factor depende la transpiración, a menor humedad, más transpiración.

Fanger establece tres condiciones básicas para conseguir el confort térmico:

- Que se cumpla el equilibrio térmico mediante los métodos de autorregulación del propio organismo, equilibrando la ganancia y pérdida de calor del cuerpo.
- Que la tasa de sudoración esté dentro de límites establecidos.
- Que la temperatura media de la piel esté también dentro de límites de confort.

Para calificar las situaciones, Fanger propone un sistema numérico que va del -3 (muy frío) al +3 (muy caluroso) y donde el 0 (neutro) es el punto más confortable. De esto se obtiene un Índice de Valoración Medio (IMV). Los resultados se presentan en la forma de porcentajes que muestran la proporción de personas que estarían incómodas o inconfortables en una situación determinada (Fanger, 1982).

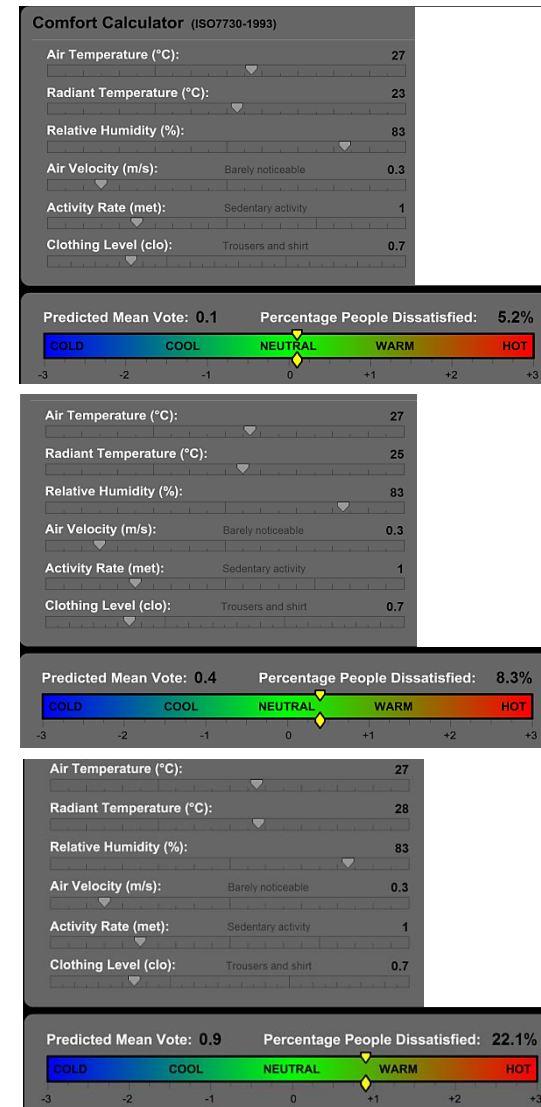
La temperatura radiante media, obtenida a partir de la temperatura del aire, la velocidad del aire y la temperatura de globo, será determinante para el confort

térmico del usuario. Por tanto, el calor que los cerramientos aportan por radiación de onda larga al ambiente es un factor muy importante. El mismo dependerá directamente de la masa del cerramiento y de la capacidad del material para aislar o conducir el calor.

Insertando en varios motores de cálculo en la web los valores correspondientes a las variables del método de Fanger, cada motor nos proporciona un porcentaje de usuarios insatisfechos con la situación térmica propuesta.

Para el caso de una vivienda unifamiliar en Santo Domingo se han tomado los valores promedio de temperatura (27°C), velocidad del aire (interior, 0.3m/s) y humedad relativa (83%) para esta ciudad en el mes de Julio.

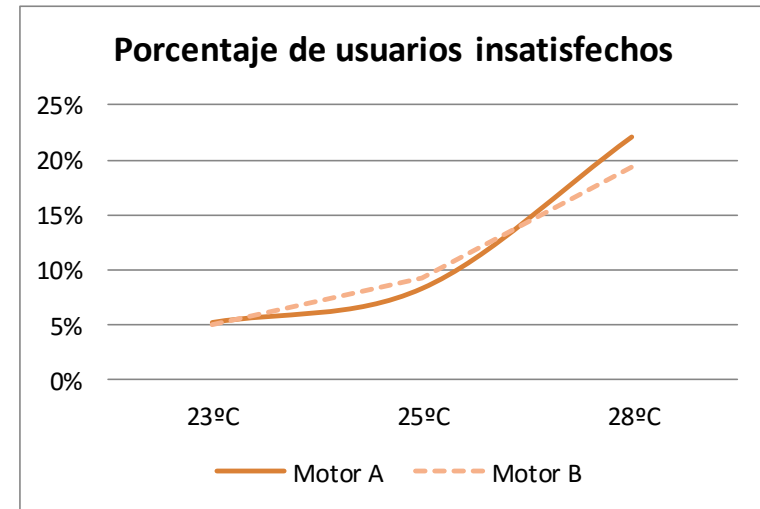
Se ha planteado una situación donde el usuario realiza una actividad sedentaria (1met) y porta pantalones y camisa ligera (0.7clo) (Ver Anexo 1 para mayor descripción de estos parámetros). Se aprecia cómo el aumento de la temperatura de radiación (23°C-25°C-28°C) produce un gran aumento del porcentaje de usuarios incómodos en la situación propuesta.



Motor de cálculo A: Comfort Calculator, Dr. A. Marsh
<http://www.healthheating.com/solutions.htm#.VS1RofmsU9J>

Comfort Model STDOUT		
Effective Temperature (ET ⁺)	26.35	
Standard Effective Temperature (SET ⁺)	23.96	
Discomfort (DISC)	0.21	Comfortable
Thermal Sensation (TSENS)	0.10	Neutral
Predicted Mean Vote (PMV)	-0.45	Neutral
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	9.31	
Heat Stress Index (HSI)	12.99	
Effective Temperature (ET ⁺)	28.19	
Standard Effective Temperature (SET ⁺)	25.85	
Discomfort (DISC)	0.70	Slightly Uncomfortable
Thermal Sensation (TSENS)	0.43	Neutral
Predicted Mean Vote (PMV)	0.02	Neutral
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	5.00	
Heat Stress Index (HSI)	22.04	
Effective Temperature (ET ⁺)	30.87	
Standard Effective Temperature (SET ⁺)	28.68	
Discomfort (DISC)	1.46	Slightly Uncomfortable
Thermal Sensation (TSENS)	0.94	Slightly Warm
Predicted Mean Vote (PMV)	0.82	Slightly Warm
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	19.33	
Heat Stress Index (HSI)	36.25	

Motor de cálculo B: Comfort Model, Universidad de Sydney
<http://web.arch.usyd.edu.au/~rdeear/>



A partir de una temperatura de radiación de 28°C, el porcentaje de inconformidad es sustancial, como puede observarse en la gráfica. Si planteamos la necesidad que al menos un 80% de los usuarios esté confortable, podemos entonces considerar esta como una temperatura de radiación inadmisibles en cuanto a consideraciones de confort.

Realizando un análisis de la incidencia de radiación solar directa mediante el software *Heliodon*, utilizando un modelo simple, y basados en datos climáticos de la ciudad de Santo Domingo, es posible distinguir cuáles son las fachadas más afectadas por la radiación.

El promedio por hora de radiación incidente, muestra que las fachadas que más radiación diaria reciben son la Este, la Oeste y la Sur.

**RADIACIÓN DIRECTA ANUAL SEGÚN
ORIENTACIÓN (kWh/m²)**

	SUR	ESTE/OESTE
ENE	119	93
FEB	94	99
MAR	70	129
ABR	43	137
MAY	23	144
JUN	5	139
JUL	11	144
AGO	35	143
SEP	51	130
OCT	94	116
NOV	119	94
DIC	120	90
TOTAL	784	1458

	Horas de sol por mes:		Wh/m2 promedio por hora	
	S	E-O	S	E-O
ENE	330	150	360.61	620.00
FEB	240	150	391.67	660.00
MAR	180	156	388.89	826.92
ABR	150	168	286.67	815.48
MAY	75	180	306.67	800.00
JUN	60	180	83.33	772.22
JUL	60	180	183.33	800.00
AGO	75	180	466.67	794.44
SEP	150	168	340.00	773.81
OCT	180	156	522.22	743.59
NOV	240	150	495.83	626.67
DIC	330	150	363.64	600.00

Luego, calculamos la temperatura de superficie exterior mediante la fórmula:

$$T_{se} = T_{aire} + (radiación\ incidente \times absorptividad \times 0.04)$$

Se han propuesto dos tipos de acabado exterior para cada fachada, uno de revoco gris sin pintar y otro con una capa de pintura blanca. Asimismo, se toma la temperatura promedio del aire como 27°C durante el solsticio de verano y 24°C durante el solsticio de invierno, según datos de la estación meteorológica local.

La temperatura de superficie interior de los cerramientos dependerá del comportamiento térmico del material del que estén compuestos. Como hemos mencionado anteriormente, los paneles de entramado de madera no poseen una gran cantidad de masa, por lo que su inercia térmica es muy baja. Comparada con el bloque de hormigón, la madera de pino posee una conductividad térmica mucho menor.

CERRAMIENTO DE BLOQUES DE HORMIGÓN

Material	Espesor (m)	Resistencia ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$)
mortero cP	0.02	0.012
bloque hormigón	0.20	0.147
revest. Yeso	0.02	0.200
Rt		0.359

CERRAMIENTO DE ENTRAMADO DE MADERA

Material	Espesor (m)	Resistencia ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$)
madera de pino	0.12	1
mortero cP	0.02	0.012
tablero OSB	0.02	0.154
aire	0.12	4.781
revest. yeso	0.02	0.200
Rt		5.146

Utilizando el software Heat2, hemos evaluado la transmisión de calor desde la superficie exterior hacia la exterior, encontrando la temperatura de superficie interior.

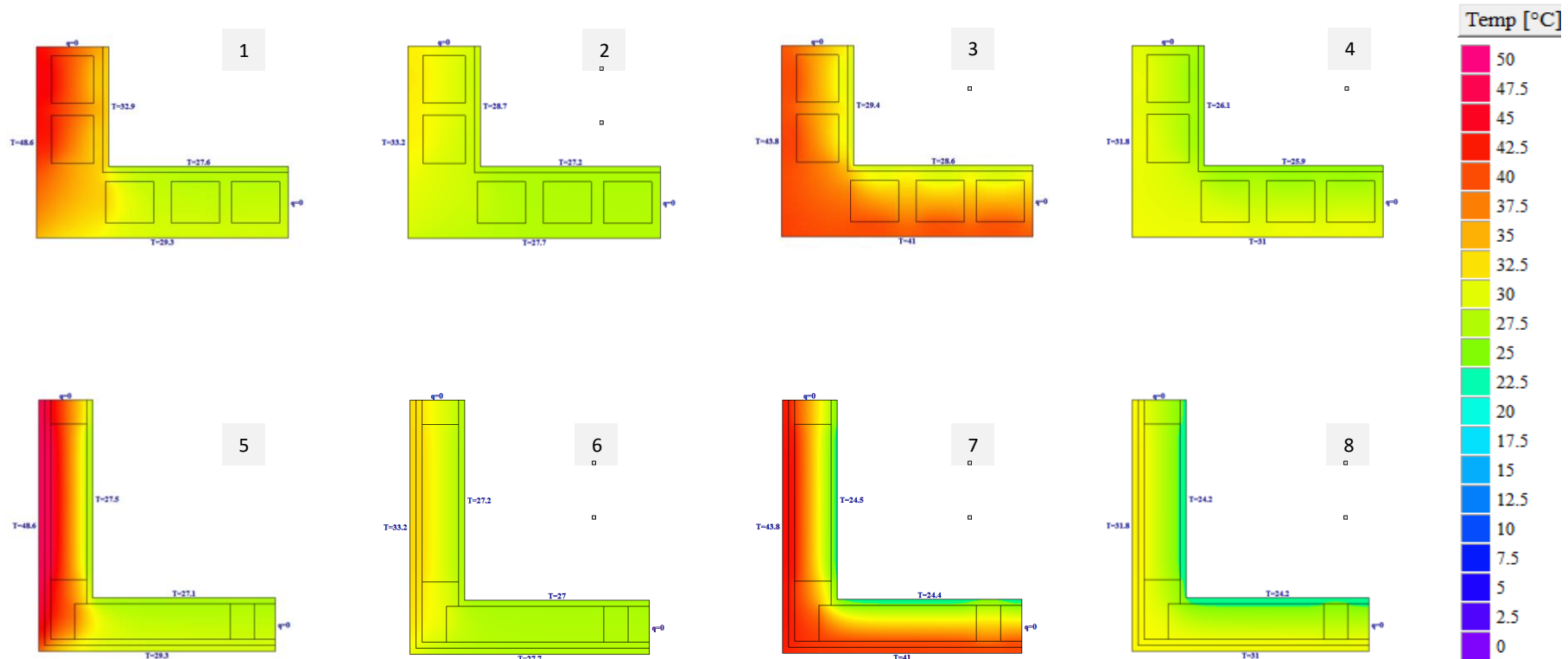
MURO DE BLOQUES DE HORMIGÓN

Orientación	Fecha	Terminación	Tse (°C)	T. Aire (°C)	Tsi* (°C)	Gráfica
E/O	21-jun	Gris	48.6	27	32.9	1
S	21-jun	Gris	29.3	27	27.6	1
E/O	21-jun	Blanca	33.2	27	28.7	2
S	21-jun	Blanca	27.7	27	27.2	2
E/O	21-dic	Gris	43.8	24	29.4	3
S	21-dic	Gris	41.0	24	28.6	3
E/O	21-dic	Blanca	31.8	24	26.1	4
S	21-dic	Blanca	31.0	24	25.9	4

MURO DE ENTRAMADO DE MADERA

Orientación	Fecha	Terminación	Tse (°C)	T. Aire (°C)	Tsi* (°C)	Gráfica
E/O	21-jun	Gris	48.6	27	27.5	5
S	21-jun	Gris	29.3	27	27.1	5
E/O	21-jun	Blanca	33.2	27	27.2	6
S	21-jun	Blanca	27.7	27	27.0	6
E/O	21-dic	Gris	43.8	24	24.5	7
S	21-dic	Gris	41.0	24	24.4	7
E/O	21-dic	Blanca	31.8	24	24.2	8
S	21-dic	Blanca	31.0	24	24.2	8

Tsi= Temp. aire + [(R superficie interior/R total +R superficie interior) (Tse-Temp. aire)]



Gráficos de temperaturas de superficie a través del cerramiento de bloques de hormigón (1-4) y de entramado de madera (5-8). Se grafican los valores para la orientación Oeste y Sur.

Fuente: HEAT2

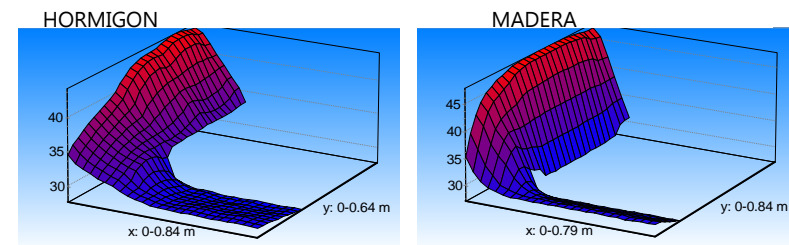
Nótese que en varios casos, la temperatura de superficie interior del muro de bloques de hormigón sobrepasa los 28°C establecidos anteriormente como límite de admisibilidad para procurar el confort de los usuarios. En contraste, el cerramiento de entramado de madera mantiene en todos los casos una temperatura de superficie interior por debajo de este límite.

Dado que la temperatura de radiación desde la superficie interior del cerramiento de madera hacia el espacio interior de la vivienda será menor, la habitabilidad de estos espacios será más agradable.

Asimismo, las temperaturas de radiación provenientes tanto de las fachadas Este/Oeste como de la fachada Sur son muy similares, lo que ayudaría a evitar grandes diferencias térmicas en el espacio interior de la vivienda. Según los datos obtenidos, podría incluso considerarse que la temperatura de superficie interior de este cerramiento es casi independiente de las variaciones de color de la terminación exterior, presentándose diferencias de solo décimas de grados entre la terminación exterior blanca y la gris.

Mediante los gráficos obtenidos del HEAT2 es posible apreciar cómo, con el mismo tipo de terminación interior y exterior, y bajo las mismas condiciones de temperatura de ambiente y radiación, los muros presentan flujos térmicos bastante diferentes.

A pesar de su menor grosor, dentro del cerramiento de entramado de madera se produce un cambio más drástico de temperatura que en el caso del cerramiento de bloques de hormigón, a través de los cuales el calor fluye con mayor uniformidad.



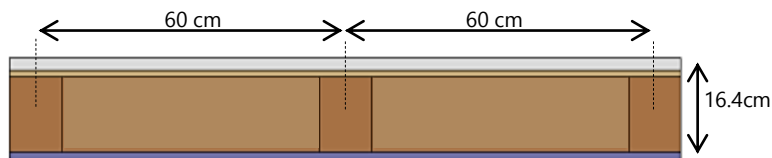
Esto se debe a que el conjunto del muro de bloques de hormigón posee una resistencia térmica mucho menor a la del entramado de madera, permitiendo con mayor facilidad el flujo de energía entre la cara exterior y la interior.

5. PROPUESTA

5.1. PANEL DE ENTRAMADO LIGERO

Considerando las condiciones expuestas en apartados anteriores, se plantea un panel de cerramiento de poca masa, cuya ligereza permitiría un mejor funcionamiento de la estructura en caso de sismos y reduciría la retención y transmisión de calor.

Proponemos la elaboración de paneles de entramado ligero de madera, compuestos por una estructura de listones de madera de pino de sección 8x12cm, y de 280cm de altura, colocados a una distancia entre ejes de 600mm para facilitar la modulación. Tendrán un grosor total de 16.4cm y una longitud mínima recomendada de 248cm, para un total de 6.94m².



Sección horizontal del panel

5.1.1 Estructura

Como se ha mencionado, se recomienda la construcción del entramado de estos paneles con madera de pino criollo, ya que ofrece resistencia suficiente, ligereza y disponibilidad en el mercado.

Para calcular la sección de los listones de madera se ha establecido la necesidad de que soporten cargas de viento de 70m/s, la velocidad media de los vientos de un huracán categoría 5.

De igual forma, se pretende que la flecha del panel sea menor a 8mm ($L/300=264/300$), para evitar daños al revestimiento exterior. Se ha utilizado como fórmula base para calcular la presión dinámica del viento:

$$Q_d = \frac{v^2}{16.13}$$

$$Q_d = \frac{70^2}{16.13}$$

$$Q_d = 303 \text{ kp/m}^2$$

$$Q_d = 3 \text{ kN/m}^2$$

Y para el cálculo de la flecha

$$F = \frac{5 (Q)(L^4)}{384 E I}$$

Donde

v es la velocidad del viento,

L es la longitud del montante,

E es el módulo de elasticidad de la madera de pino
(100,000 kp/cm²),

I es el momento de inercia, calculado por

$$I = \frac{b(h^3)}{12}$$

$$I = \frac{8(12^3)}{12}$$

$$I = 1152 \text{ cm}^4$$

Entonces,

$$F = \frac{5 (Q)(L^4)}{384 E I}$$

$$F = \frac{5(0.03 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2})(60\text{cm})(264\text{cm})^4}{384 (100,000 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2})(1152\text{cm}^4)}$$

$$F = 0.98\text{cm}$$

Según los cálculos, con una medida en sección de 8x12cms, los montantes, bajo vientos de 70m/s, sufrirán una flecha de 0.98cm.

El ensamblaje de los listones que conforman el entramado se realiza mediante clavos de acero galvanizado de 6mm de diámetro y 114mm (4 ½") de largo, con un mínimo de dos clavos por conexión.

Para determinar el número de clavos de las conexiones y su longitud, se ha tomado como base la normativa Norteamericana para la construcción de entramado de madera (International Code Council, 2010).

Para la rigidización y estabilidad de los paneles, se cerrarán en su cara exterior con un tablero de aglomerado de madera, preferiblemente OSB, de 12mm de grosor, clavado al entramado.

5.1.2 Aislamiento

No se prevé el uso de ningún tipo de material de aislamiento en el interior del panel por considerarse, mediante los cálculos expuestos en apartados anteriores, que el conjunto del panel provee suficiente aislamiento térmico en sí mismo para ofrecer una mejora significativa en comparación con el sistema tradicional de bloques.

Por otra parte, el uso de materiales de aislamiento, de los cuales no se dispone regularmente en República Dominicana, podría encarecer la producción del panel y dificultar el proceso de elaboración, haciendo de este una opción económicamente no competitiva.

5.1.3 Revestimiento

Estos paneles permitirían la aplicación de varios tipos de revestimiento exterior, siempre que los mismos aporten a la impermeabilidad del conjunto.

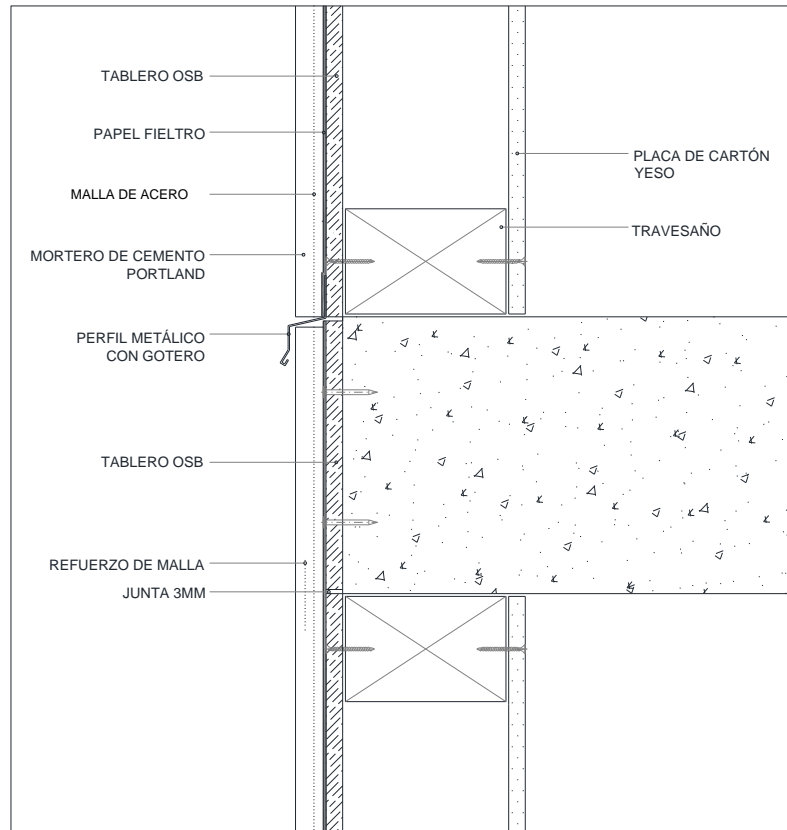
Se propone la aplicación de un revoco de mortero de cemento Portland sobre el tablero exterior de OSB.

Brock (2005) describe el procedimiento de aplicación comenzando por la colocación de una barrera de papel fieltro para evitar el paso del agua. Este papel absorbe agua en la colocación del revoco y, al secarse, se arruga creando canales de hasta 3mm que permiten el drenaje de la humedad acumulada. Para su colocación se requieren clavos galvanizados, colocados a una distancia máxima de 150mm. El papel debe solaparse al menos 200mm en su parte inferior.

Encima del papel fieltro se colocará una primera capa de mortero con malla de acero galvanizado de aperturas que no excedan los 50mm. La malla reforzará el revoco, mejorará su agarre y lo hará más resistente a los posibles movimientos de los paneles, evitando fisuras. Esta primera capa de mortero debe tener un grosor mínimo de 10mm.

Más tarde, luego del curado de la primera capa, se aplicará una segunda capa de mortero con grosor mínimo de 9mm, llevando el conjunto a un grosor de 19mm. La tercera capa es la de terminación, que puede ser de mortero o acrílico, utilizando preferiblemente un color

claro. Se recomienda el estuco de mortero para mayor durabilidad y disponibilidad.



Sección de muro exterior de entramado de madera con revoco de mortero y junta horizontal entre niveles. Nótese que se agrega a la cara del forjado una sección de tablero OSB independiente.

Se propone el refuerzo con doble capa de malla de refuerzo en las áreas de juntas verticales y horizontales entre dos tableros OSB, para así prevenir fisuras por un posible movimiento de dichos tableros. Se estima que las deformaciones que pudiese sufrir la madera por higroscopicidad serán muy pequeñas y por tanto, el refuerzo de la malla será suficiente para prevenir grietas en el acabado. Horizontalmente, deben realizarse juntas de trabajo, preferiblemente en las caras de los forjados, en las que se colocará un perfil metálico que ayudará al drenaje de la humedad que se hubiese acumulado.

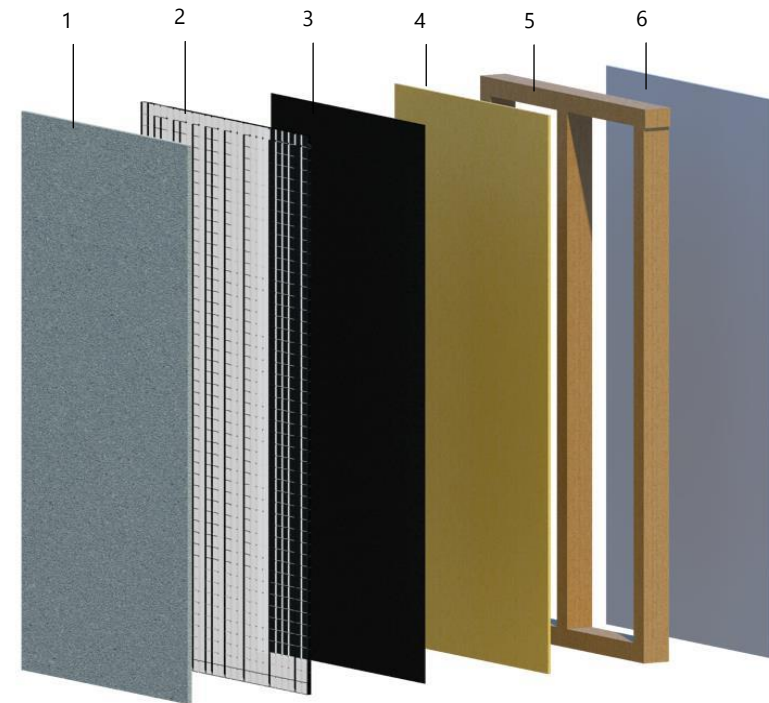
El revestimiento con revoco de mortero aportaría una apariencia más tradicional a las fachadas y por tanto ayudaría a la aceptación de este tipo de cerramiento por parte de los usuarios. De igual manera, forma una capa exterior resistente y duradera, lo suficientemente plástica para adaptarse a las posibles irregularidades.

Una segunda opción de revestimiento consiste en el uso de lamas de madera dispuestas de manera horizontal y clavadas al entramado de madera. De seleccionarse esta opción, se requeriría la colocación de una lámina de papel fieltro entre el tablero exterior de OSB y las lamas de revestimiento para asegurar la impermeabilidad de los paneles.

Se utilizarán tablas de madera de 200mm de ancho y 15 mm de grosor de largo variable. Podrán ser con borde machihembrado o recto. En el caso en que los bordes sean rectos, las tablas deberán solaparse al menos 25mm. Se clavarán con clavos de acero galvanizado de al menos 50mm de largo, a los montantes, con un clavo en cada montante. Las lamas deben estar tratadas con recubrimientos especiales para resistir las condiciones exteriores, y pintadas con colores claros para mantener una absortividad térmica baja.

No se recomienda la instalación de fachadas ventiladas debido al riesgo de desprendimiento y daños causados por vientos huracanados.

En la cara interior de los paneles se plantea el recubrimiento con placas de yeso de 12mm de grosor, clavadas directamente sobre los montantes del panel.



1. Revoco de mortero de cemento
2. Malla de acero 50x50mm
3. Papel fieltro
4. Tablero OSB 12mm
5. Estructura de listones de pino 8x12cm
6. Aplacado de yeso 12mm

Composición del panel

5.1.4 Huecos

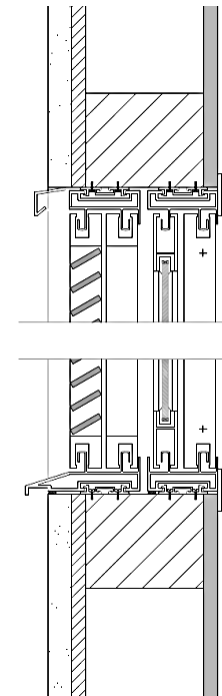
En cuanto a los huecos de ventanas en estos cerramientos, se recomienda la modulación de los mismos a partir de la base de 56 o 112cms para facilitar su integración al entramado y asegurar la estabilidad de la estructura.

Se delimitará el hueco de la ventana con listones de madera de las mismas dimensiones que el resto del entramado, como elementos de refuerzo de la estructura para mantener la estabilidad del panel y hacer a la vez de premarco para las carpinterías.

Este conjunto debe ser estanco al agua y al aire, por lo cual en el marco de la ventana se deben prever goterones para evitar la entrada de aguas pluviales. De igual forma, las juntas entre el premarco y las carpinterías deben ser selladas con sellante de silicona o masilla plástica.

Como protección solar en los huecos de ventana, se propone la colocación de paneles correderos de lamas fijas horizontales. En los huecos de puerta se aplicará el mismo concepto de modulación y premarco que en los

huecos de ventana. Se recomienda que la instalación de las carpinterías se realice en taller para facilitar su montaje y tener mayor control de calidad, de procurarse los cuidados necesarios durante el transporte.



- Disposición del entramado para acomodar huecos de ventana.
- Sección vertical de hueco con ventana corredera de aluminio corredero de lamas fijas horizontales

5.1.5 Higroscopicidad de la madera

La madera tiende a absorber o perder agua según las condiciones de humedad del ambiente, hasta alcanzar un punto de equilibrio. Estas variaciones de humedad causan cambios en su volumen. Las deformaciones en la madera causadas por la absorción de agua no serán las mismas en dirección radial, axial o tangencial a las fibras.

	Conditions initiales	Conditions d'exposition		
	65 % HR 20 °C	30 % HR 25 °C	85 % HR 25 °C	Immersion 20 °C
Humidité d'équilibre *	10 à 12 %	6 à 7 %	15 à 20 %	Saturation > 30 %
Variations dimensionnelles par rapport à l'état d'équilibre à 65 % HR, 20 °C ● Bois massif (L au fil) ● Contreplaqué NF Extérieur CTB-X — Longueur et largeur ** — Epaisseur		Retrait 1,2 à 1,5 % 0,10 à 0,13 % 1 à 1,5 %	Allongement 2 à 3 % 0,08 à 0,10 % 2 à 3 %	Allongement 5 à 7 % 0,15 à 0,25 % 4 à 5 %

* Bois et panneaux bruts n'ayant reçu aucun traitement.
 ** Les valeurs indiquées correspondent à des contreplaqués *orthotropes* dont les variations sont égales dans les deux sens perpendiculaires du plan.

Comparación de las variaciones dimensionales de la madera maciza y de los paneles de contrachapado NF para exterior, entre el estado de equilibrio en atmósfera normal y los estados secos y húmedos de referencia.

Se estima que, teniendo condiciones iniciales de humedad relativa de 65% y 20°C de temperatura y aumentando a una humedad relativa de 85% y temperatura de 25°C, la madera maciza sufre un aumento dimensional en el sentido contrario a la fibra de un 2 a 3%.

Mientras, los contrachapados, bajo las mismas condiciones, sufrirán un aumento de grosor de 2 a 3%, y un alargamiento de 0.08 a 0.1%. Esto representaría un aumento de 1.6 a 3.6mm en la sección transversal de la madera de pino de la estructura de los paneles. En el caso de la madera contrachapada, bajo estas condiciones, un grosor base de 20mm aumentará entre 0.4 y 0.6mm. Si consideramos un tablero de medidas en superficie de 1.20mx1.40m, estas dimensiones aumentarían hasta 1.5mm.

Sin embargo, en Santo Domingo, con una media anual de 83.7, la variación diaria oscila, entre el amanecer y el mediodía, de 89.2% a 71.1% (en julio), por lo cual podemos afirmar que la variación de humedad no es lo suficientemente significativa para producir grandes cambios dimensionales.

Por otro lado, al preverse una ventilación natural constante, los niveles de humedad relativa interior y exterior serán casi idénticos, haciendo que la transmisión de vapor a través del panel sea prácticamente inexistente.

No obstante, ambas propuestas de revestimiento incluyen capas o láminas que previenen el contacto directo del agua con la estructura y el tablero de recubrimiento del panel, y permiten el paso del vapor.

De igual manera, se disponen juntas de 3mm entre un tablero OSB y otro, para de esta manera poder tolerar cualquier cambio dimensional que hubiera de producirse.

5.1.6 Peso de los paneles

Con fines de comparación, procedemos a calcular el peso de un panel de entramado de madera como el que hemos propuesto. Para esto tomamos como base la densidad de sus elementos:

- Madera de pino: 450kg/m³
- Tablero OSB: 600kg/m³
- Tablero de yeso: 800kg/m³

Medición

- Pino:
 - Volumen total= 0.174m³
 - 5 listones de 0.10*0.08*2.64
 - 2 listones de 0.10*0.08*1.48
 - Peso total= 78.44kg
- Tablero OSB:
 - Volumen total= 1*2.48*2.80*0.02= 0.138m³
 - Peso total= 83.33kg
- Mortero de cemento Portland
 - Densidad: 300kg/m³
 - Volumen total= 0.138m³
 - Peso total: 41.4kg

- Tablero de yeso
 - Volumen total= $1 \times 2.48 \times 2.80 \times 0.02 = 1.38\text{m}^3$
 - Peso total= 110.40kg

Peso total del panel= **313.57kg** (aprox. 250kg/m³)

Para fines de comparación, podemos determinar el peso de un muro de igual superficie hecho de bloques de hormigón de 20x20x40cm:

Medición

- Bloques de hormigón
 - Peso de un bloque de hormigón 20x20x40= 20kg
 - Cantidad de bloques por m²= 12.5u
 - Cantidad de bloques en 6.94m²= 86.75
 - Peso total de los bloques= 1735kg
- Mortero de cemento Portland:
 - Densidad: 300kg/m³
 - Volumen total= 0.548m³
 - Revestimiento exterior= 0.138m³
 - Mortero de juntas= 0.41m³
 - Peso total= 712.40kg

- Revestimiento interior de yeso:
 - Volumen total= 0.138m³
 - Peso total= 110.40kg

Peso total del muro= **2557.80kg** (aprox. 1540kg/m³)

Con esto se demuestra que el panel de madera es mucho más ligero que el de bloques de hormigón, pesando este último alrededor de 1200kg más por cada m³.

Ha de notarse que no se ha tomado en cuenta el relleno de los huecos y el reforzado del muro de bloques de hormigón con acero, necesario para hacer de éste un cerramiento resistente. Al añadirse estos dos componentes, es de esperar que el muro de bloques de hormigón se haga considerablemente más pesado.

De la misma manera, no se ha considerado el peso de las uniones metálicas de los paneles de entramado ligero de madera, ni el peso del mortero de revestimiento exterior.

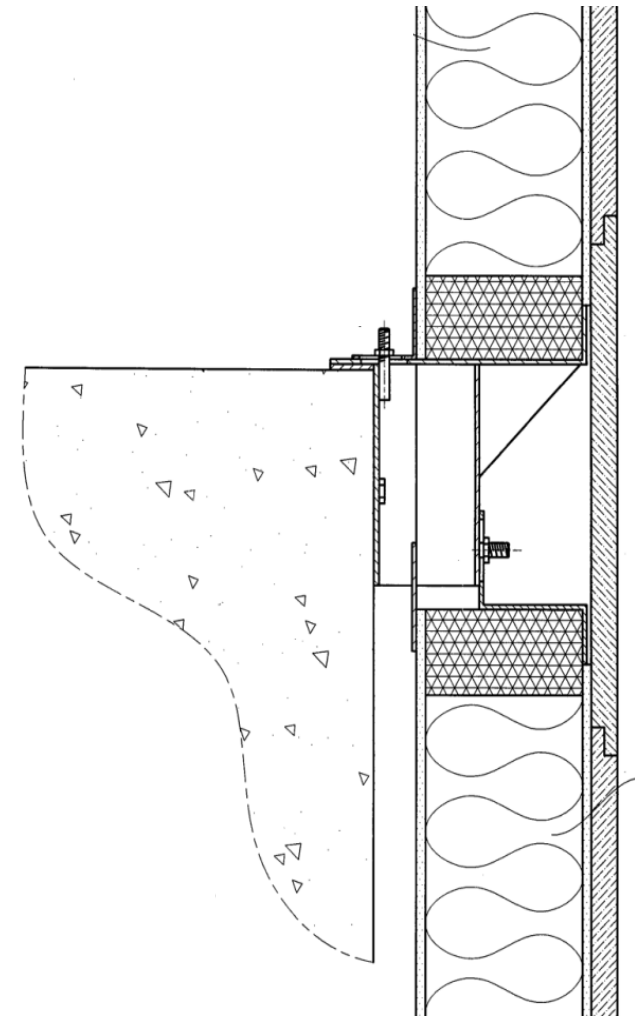
5.2. FIJACIONES ENTRE PANEL DE ENTRAMADO LIGERO DE MADERA Y ESTRUCTURA DE HORMIGÓN

5.2.1 Descripción del sistema Arbonis/Vinci

Como hemos establecido anteriormente, el panel de cerramiento que se plantea no cumple una función estructural, es decir, no soporta más que su propio peso y solicitaciones de viento. Debido a las características particulares de la madera, el tipo de unión escogida debe tener en cuenta no solo la transmisión de estos esfuerzos a la estructura principal de hormigón armado sino también las tolerancias de las posibles irregularidades de ambos materiales.

Para fijar los paneles de cerramiento a la estructura de hormigón armado se ha estudiado la utilización de un sistema de fijación de Arbonis/Vinci, el cual posiciona los paneles de manera continua en el exterior de la estructura, por frente de los forjados.

Las tolerancias necesarias para el montaje sobre la estructura de hormigón armado y para la madera son diferentes. Este sistema permite el ajuste de los paneles en

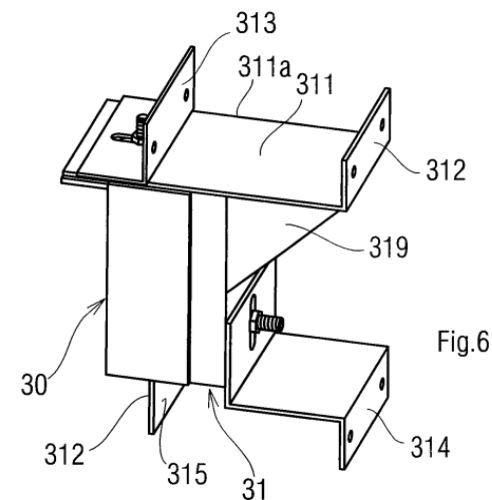
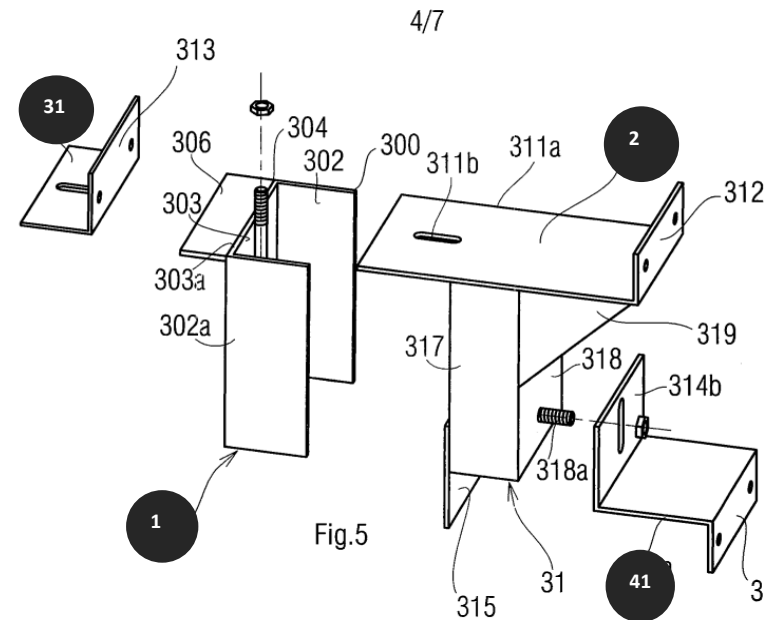


todas las direcciones y hace posible el acoplamiento sobre las irregularidades de la estructura de hormigón.

En el encaje con la estructura de concreto, la pieza puede ajustarse hasta dos centímetros, mientras que es lo suficientemente precisa para ajustar el panel de madera con precisión milimétrica. Permite, por tanto, gran exactitud en la colocación y la continuidad de los paneles de madera.

Esta fijación está hecha con chapa de acero de 2.5mm de grosor y se compone de cuatro partes:

- La primera pieza se fija horizontalmente al borde del forjado mediante un pasador de anclaje. Es el único punto de unión entre el conjunto de piezas y la estructura de hormigón. Presenta un perno soldado mediante el cual se une a la segunda y tercera piezas.
- La segunda pieza permite el ajuste horizontal de los paneles sobre la estructura de hormigón.
- La tercera pieza se une a la primera y a la segunda, y fija el panel superior y permite su ajuste horizontal.



- La cuarta pieza se une a la segunda mediante un tornillo, y fija el panel inferior y permite su ajuste vertical.

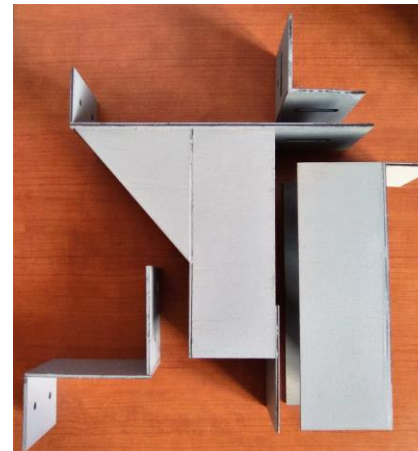
Las fijaciones en los paneles de madera se hacen mediante tirafondos.

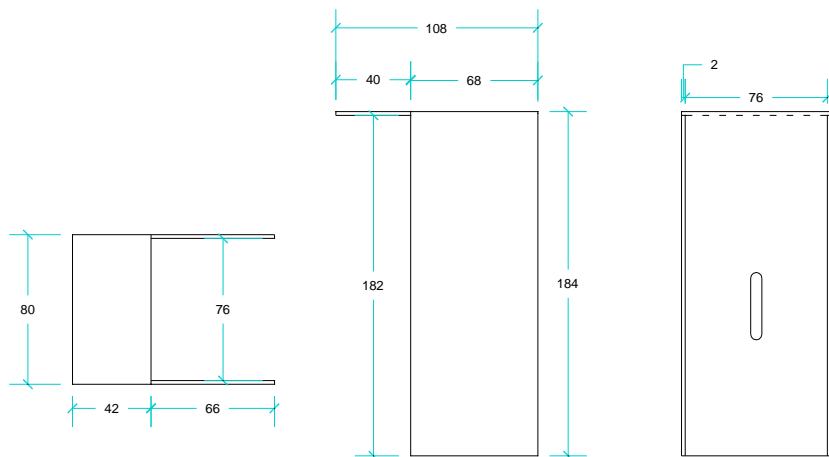
Para el estudio más a fondo, se ha elaborado un modelo a escala real en madera mediante el cual se ha podido estudiar el encaje de las piezas y las formas de ajuste. El número de piezas, a primera vista, puede parecer excesivo. Sin embargo, es necesario para procurar el ajuste en todas las direcciones. Las piezas son de geometría relativamente simple y en su elaboración podrían minimizarse las soldaduras mediante el doblado de la chapa.

Se considera que la puesta en obra de esta fijación requiere mano de obra entrenada, ya que es un sistema complejo y es de extrema importancia la precisión en el ajuste de cada una de las piezas y la consecución de la planeidad de todos los paneles que conforman la fachada.

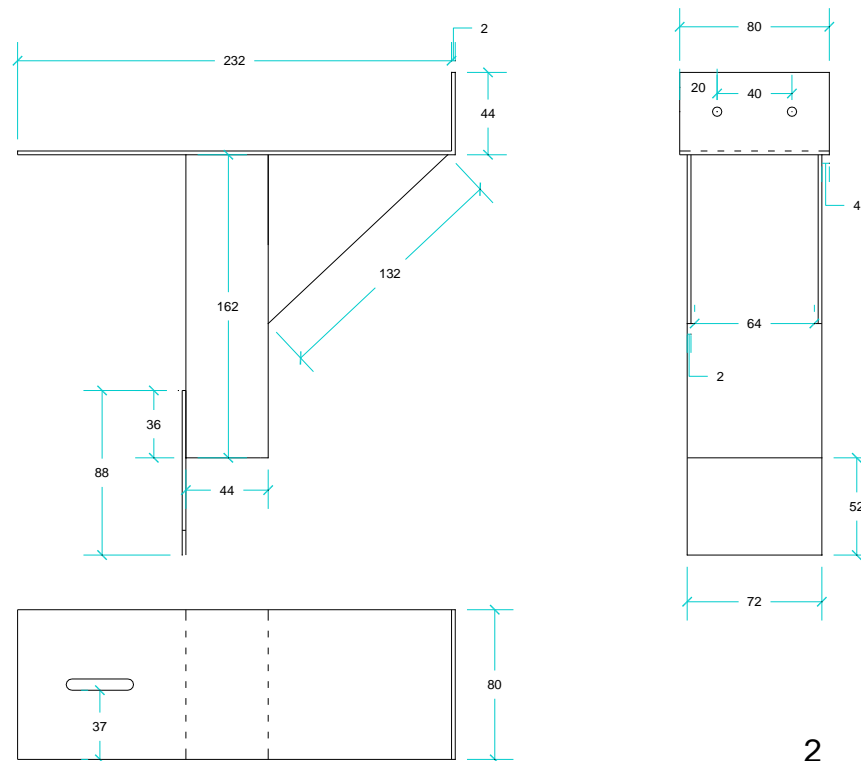
No se han tomado consideraciones especiales en su diseño para cargas de viento extremas, ni se ha

experimentado su comportamiento en sismos, ya que la normativa francesa no lo requiere dado el bajo nivel de exposición del país a este tipo de fenómenos. Sin embargo, se han realizado numerosas obras utilizando este sistema de fijación para cerramientos en varias ciudades francesas, con excelentes resultados y sin haberse reportado, hasta ahora, ningún fallo.

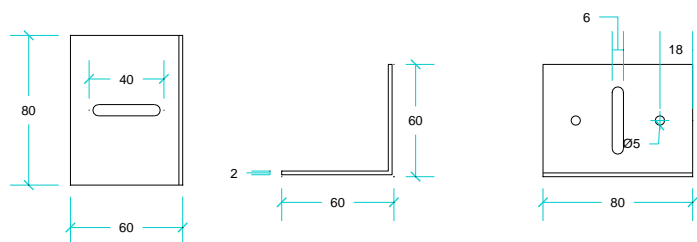




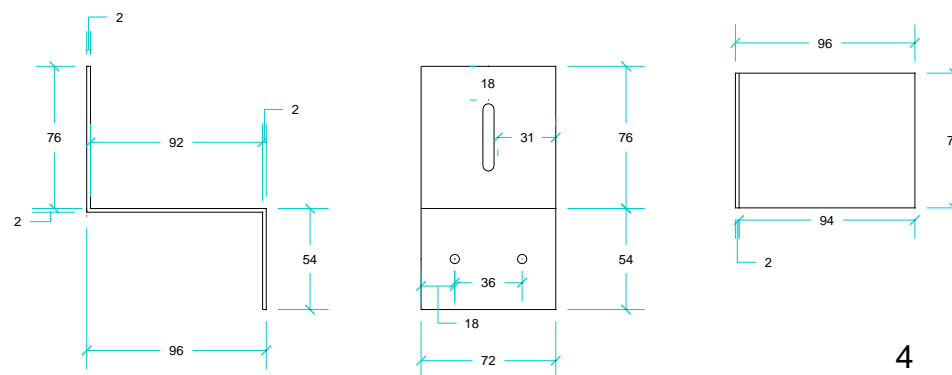
1



2



3



4

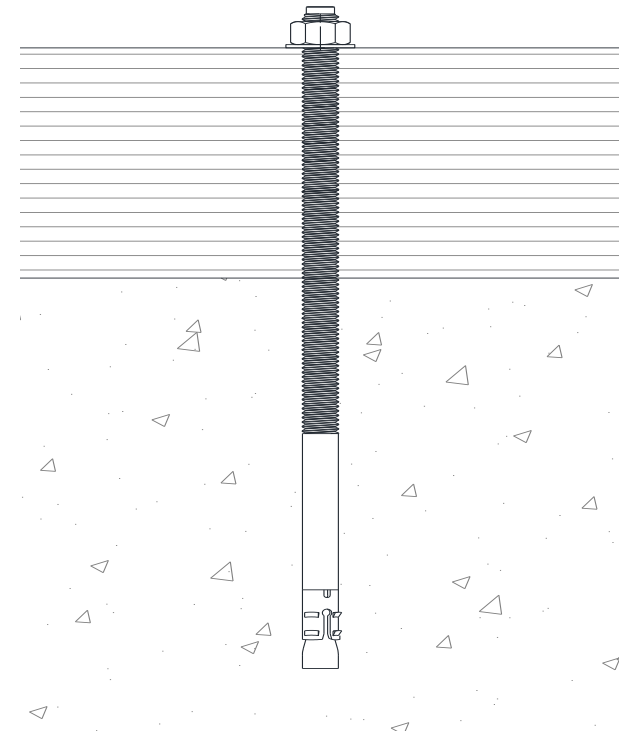
5.2.2 Desarrollo de una solución

Habiendo analizado el sistema de fijación anterior, debe reconocerse que posee un nivel de sofisticación que haría difícil su fabricación y puesta en obra de forma cotidiana en edificios de pequeña escala en República Dominicana. Viendo esto, se busca una solución más simple pero efectiva. Se ha analizado el uso de perfiles angulares de chapa de acero galvanizado para la fijación de los paneles desde la parte interior, entre forjados, pero estos angulares dificultarían la colocación de los revestimientos de piso y techo.

Realizados los cálculos para obtener la presión que ejercerían vientos huracanados sobre la superficie del panel, se puede determinar la cantidad de anclajes y el punto de colocación de los mismos. Habiendo determinado que el panel soportará una presión de 3kN/m^2 , y teniendo un panel de 2.80m de alto y 2.48m de largo, con una superficie total de 6.94m^2 , la presión total sobre el panel será de 20.82kN .

Por tanto, se propone una fijación simple consistente en el atornillado de los travesaños principales inferior y

superior de los paneles mediante pernos de 9.5mm de diámetro y 200mm de longitud, con anclajes de expansión mecánica. Un perno de acero de estas dimensiones, embebido 100mm en concreto, tiene una resistencia permisible a esfuerzo cortante de aproximadamente 4.5kN (ver Anexo 3 en página 63).



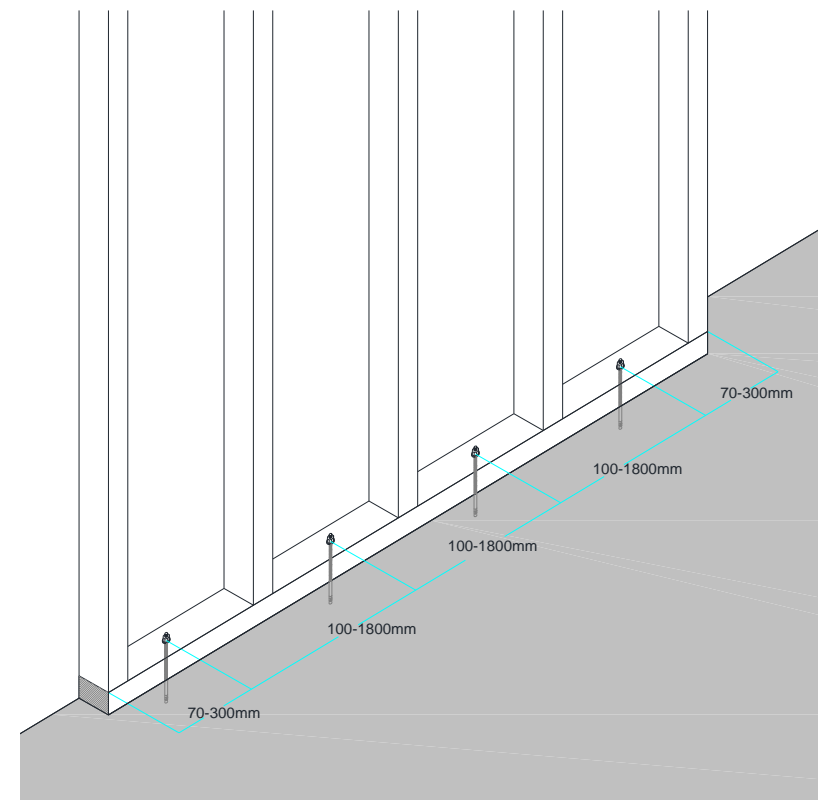
Sección de una fijación en concreto con perno de expansión mecánica

Dada esta resistencia, se recomienda la colocación de un mínimo de 6 anclajes por cada sección de 2.48m de panel.

Estos pernos se colocarán a una distancia mínima de 70mm y máxima de 300mm del extremo lateral del panel, y a una distancia entre sus ejes de mínimo 100mms y máximo 1800mm, pudiendo anclar un punto en cada módulo de 60cms. De igual forma, deberán colocarse a una distancia mínima de 70mm del borde del forjado. Estas medidas son provistas tomando en cuenta los posibles conos de rotura en el caso del fallo del hormigón y basadas en el Código Constructivo del Estado de la Florida, el cual toma muy en cuenta los efectos sísmicos y de viento. Dicha normativa especifica una profundidad de empotramiento de 150mm, pero se considera esta profundidad excesiva ya que los paneles, al ser ligeros y no portantes, no sufrirán en caso de sismo tanto como una estructura hecha completamente de entramado de madera.

Para sobrellevar las posibles irregularidades en las superficies de hormigón sobre las cuales se apoyaría el panel, se necesitará de elementos que sirvan para calzarlo

y obtener un nivel homogéneo. Para tales fines se proponen calzos puntuales bajo cada montante, compuestos por piezas de PVC o poliestireno de 3 a 10mm de grosor.



Espaciamento y colocación de las fijaciones

5.3. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DEL PANEL

El proceso de fabricación del panel, tanto en taller como in-situ, comenzará con el aserramiento de la madera y la adecuación del largo de los listones según las dimensiones previstas de cada panel.

Si se prefabricase la base de los paneles, estas tendrán una longitud máxima de 12 metros para hacer posible su transporte.

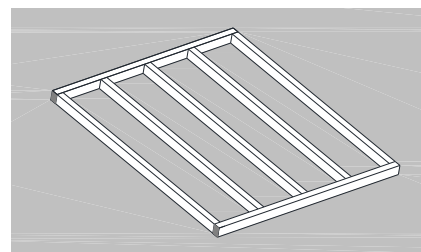
Se comenzará por el ensamblaje de la estructura principal, utilizando los listones de 80x120mm previamente aserrados y calibrados. Este ensamblaje se hará con la estructura en posición horizontal, apoyada en el suelo o en una superficie horizontal resistente.

Los montantes se clavarán al travesaño base y al travesaño superior a 600mm de cada eje, formando así la base del panel.

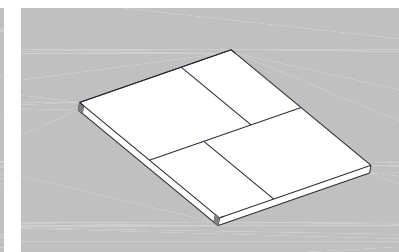
A esta estructura se le unirán los tableros OSB que componen la base del revestimiento exterior. Estos tableros se colocarán a rompejuntas sobre el entramado

de madera y se fijarán a los montantes con tirafondos. Entre un tablero y otro se dejará una junta de 3mm para tolerar cualquier cambio por higroscopicidad de la madera.

Debe tenerse en cuenta en todo momento la protección de la madera frente a la humedad para evitar el deterioro del entramado.



Elaboración del entramado



Colocación de los tableros

Al tener lista la estructura base del panel, se colocará el mismo en posición vertical y se llevará a su posición final. Deben revisarse las irregularidades que pueda presentar el hormigón y que den lugar a desnivelaciones del panel, y corregirse mediante los calzos de PVC, colocándolos bajo el travesaño base y preferiblemente alineados con la posición de los montantes.



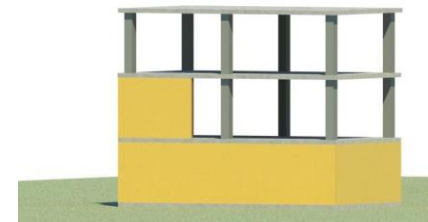
Ejemplo de piezas de PVC utilizadas para calzar, normalmente, vidrios en carpinterías de aluminio.
Fuente: Fabricante 'Mundo Aluminio'

Una vez colocado en su lugar el panel, se fijará a la estructura taladrando huecos de 220mm de profundidad a través de la madera y hacia dentro del hormigón, donde se insertarán mediante martillado y apretado de la tuerca los pernos de fijación señalados anteriormente.

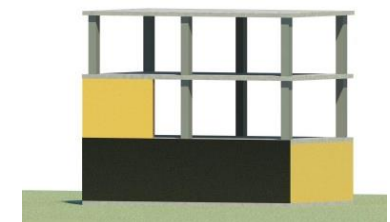
Fijados los paneles se procederá a clavar los tableros OSB que cubrirán las caras de los forjados y a colocar los perfiles metálicos de las juntas de trabajo horizontales que se dejarán en el revestimiento.

Luego se procederá a colocarse el papel fieltro en el exterior para prevenir daños por humedad. Más tarde, se colocará el revestimiento exterior y el interior. Las carpinterías se instalarán luego de estar terminados los revestimientos.

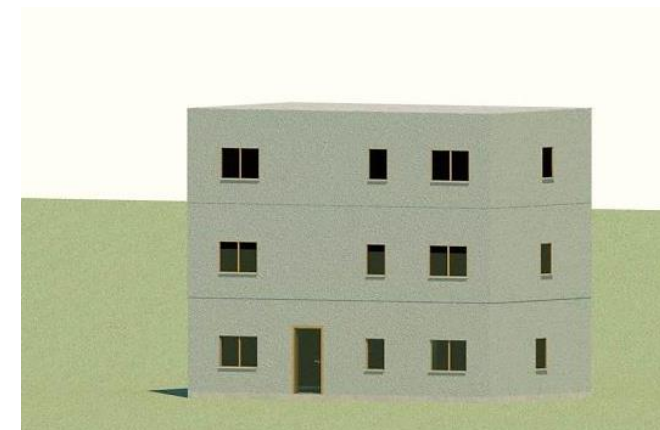
Los encuentros de esquina entre dos paneles se resolverán añadiendo un tercer montante, que servirá para rigidizar y estabilizar ambos paneles. En los encuentros con columnas se recomienda la fijación lateral de los paneles a las mismas con un pasador simple,



Colocación y fijación de los paneles



Colocación del papel fieltro y el revestimiento



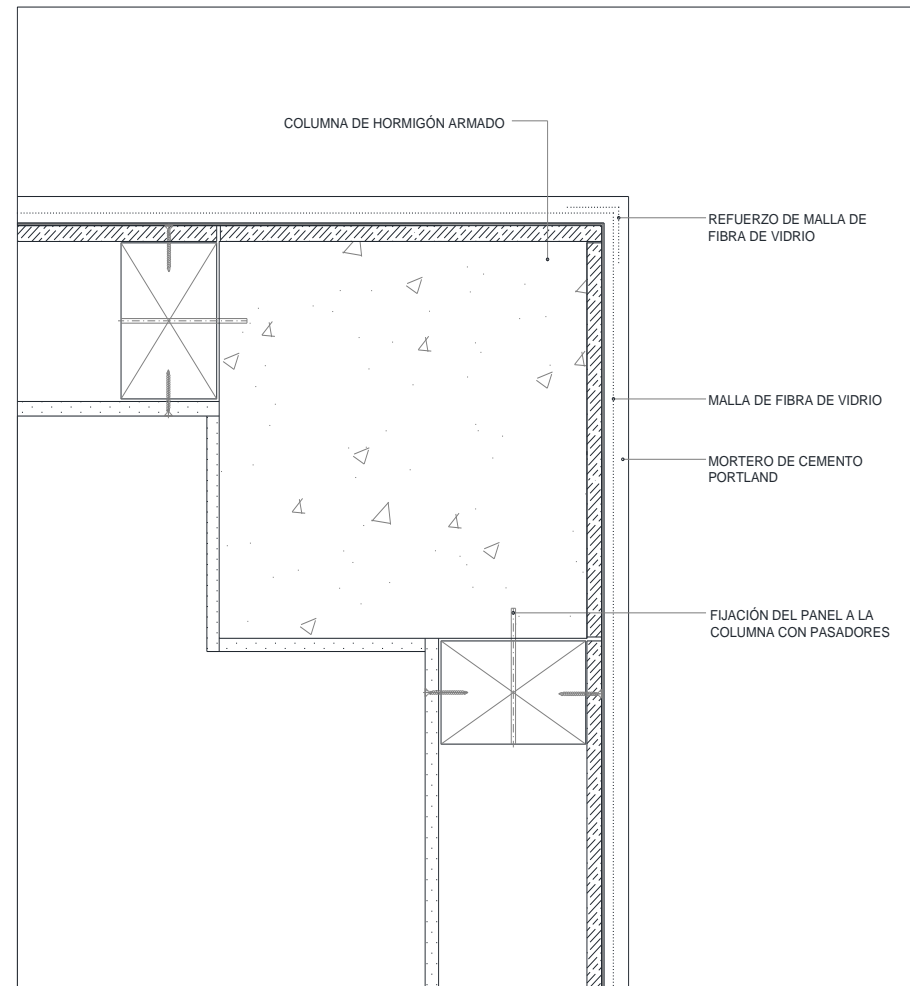
Resultado final

proporcionando mayor firmeza de las juntas verticales y minimizando así el riesgo de fisuras en el revestimiento. Las columnas, al igual que los forjados, se revestirán con tableros OSB y mortero de cemento, procurando la continuidad del revestimiento.

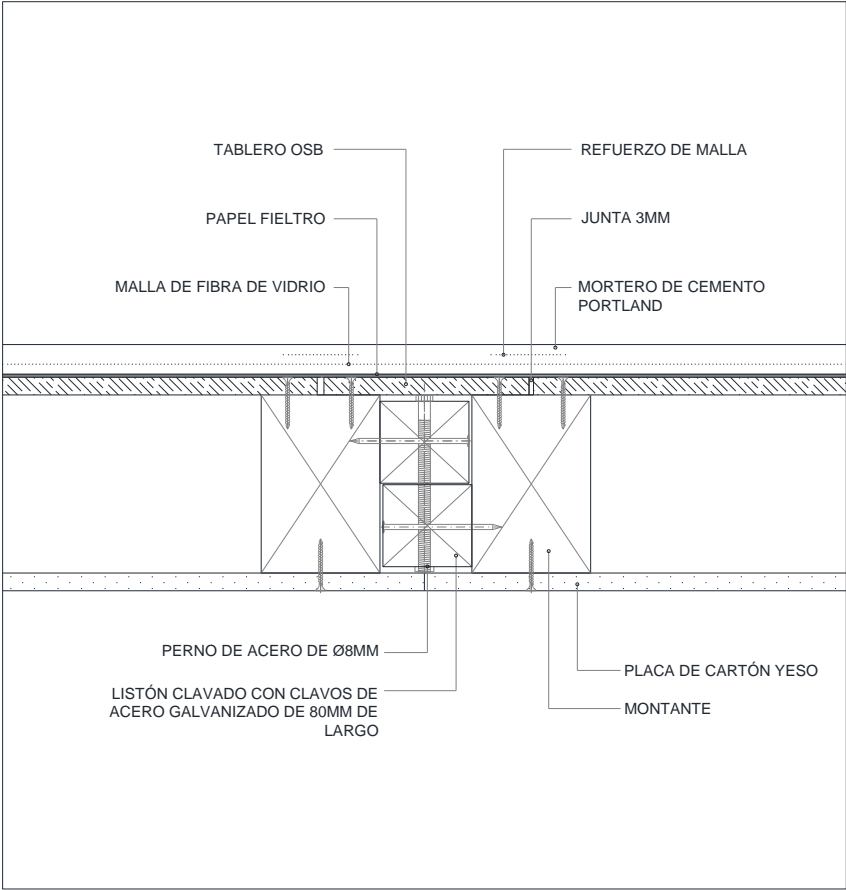
Los encuentros entre dos paneles adyacentes se resolverán añadiendo al último montante de cada panel un listón de 30x30mm, clavado, a 5mm de la parte exterior en el extremo izquierdo del panel y a 5mm de la parte exterior en el extremo derecho.

Estos dos listones conformarán el punto de unión entre paneles adyacentes, siendo unidos mediante un perno para madera de máximo 8mm de diámetro.

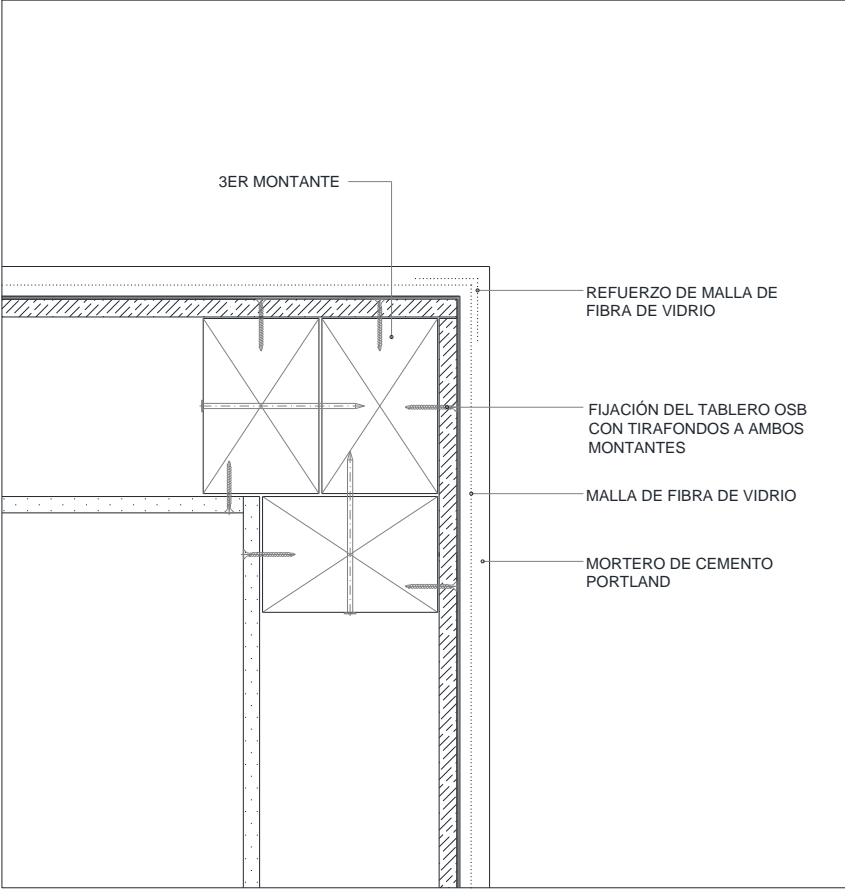
La junta formada será cubierta por una pieza de tablero OSB que se clavará a los montantes del panel.



Unión de paneles en esquina con columna



Unión de paneles adyacentes



Unión de paneles en esquina

5.4. PLANTEAMIENTO DEL CERRAMIENTO DE PANELES DE ENTRAMADO DE MADERA EN UNA VIVIENDA SOCIAL DOMINICANA

Con el fin de comprobar la adaptabilidad de estos paneles en su distribución en planta, hemos tomado la planta de una vivienda social de 75m² construida en Santo Domingo en los años 90. La misma ha sido ligeramente modificada para adaptarse a la modulación a 60cm de los paneles.

Para el cerramiento de esta estructura se plantean dos paneles de 4.88, cuatro de 3.68 y dos de 3.08 metros de longitud. De estos ocho paneles, cinco presentan carpinterías. Las divisiones interiores, aunque no se consideran en este estudio, pudieran ser tabiquería simple de cartón yeso.

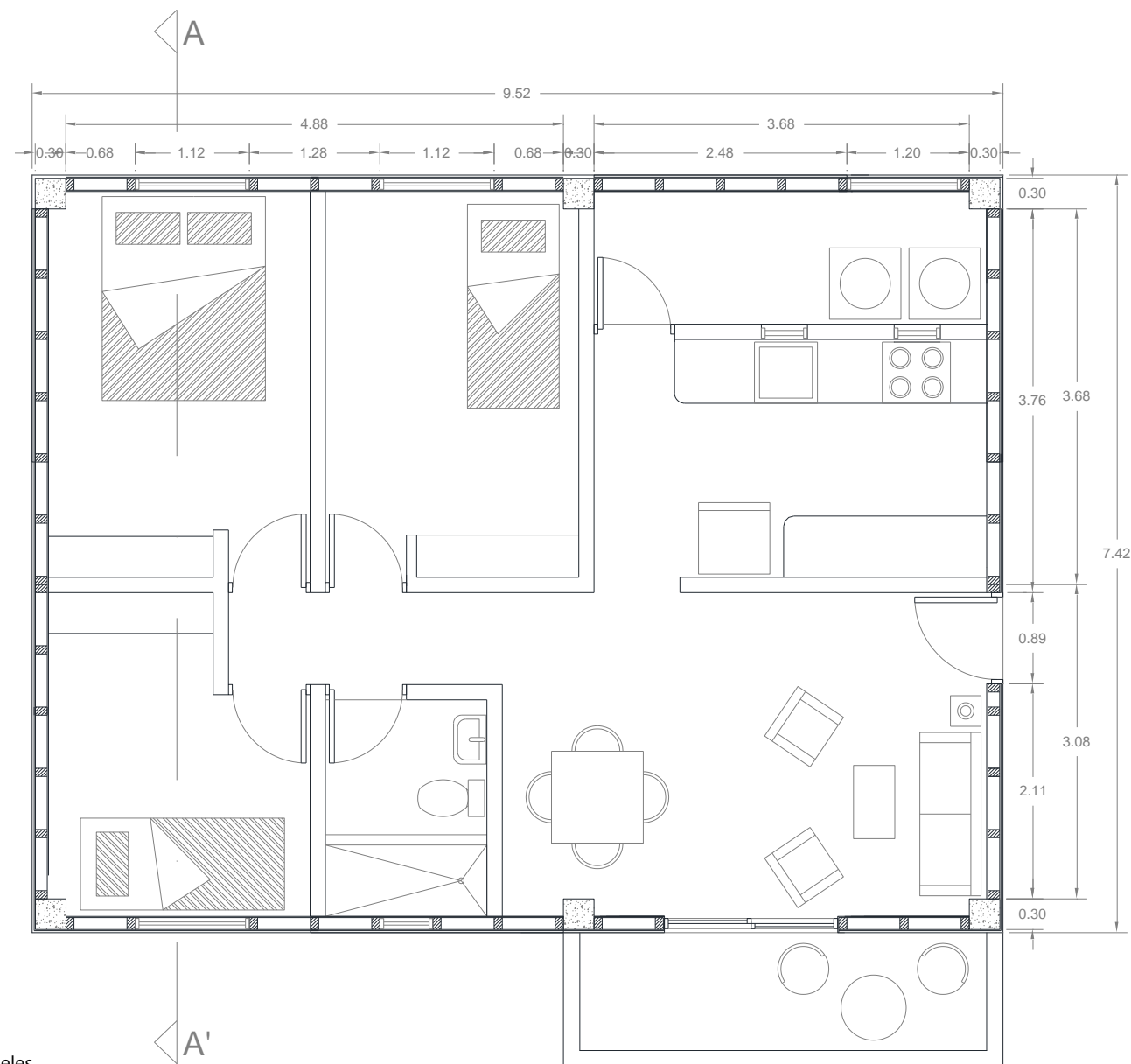
Se percibe en las secciones como puede mantenerse la continuidad de los revestimientos mediante la colocación de tableros OSB delante de las caras de forjados.

Se plantea que el paso de las instalaciones se realice a través de la tabiquería interior, para así evitar hacer

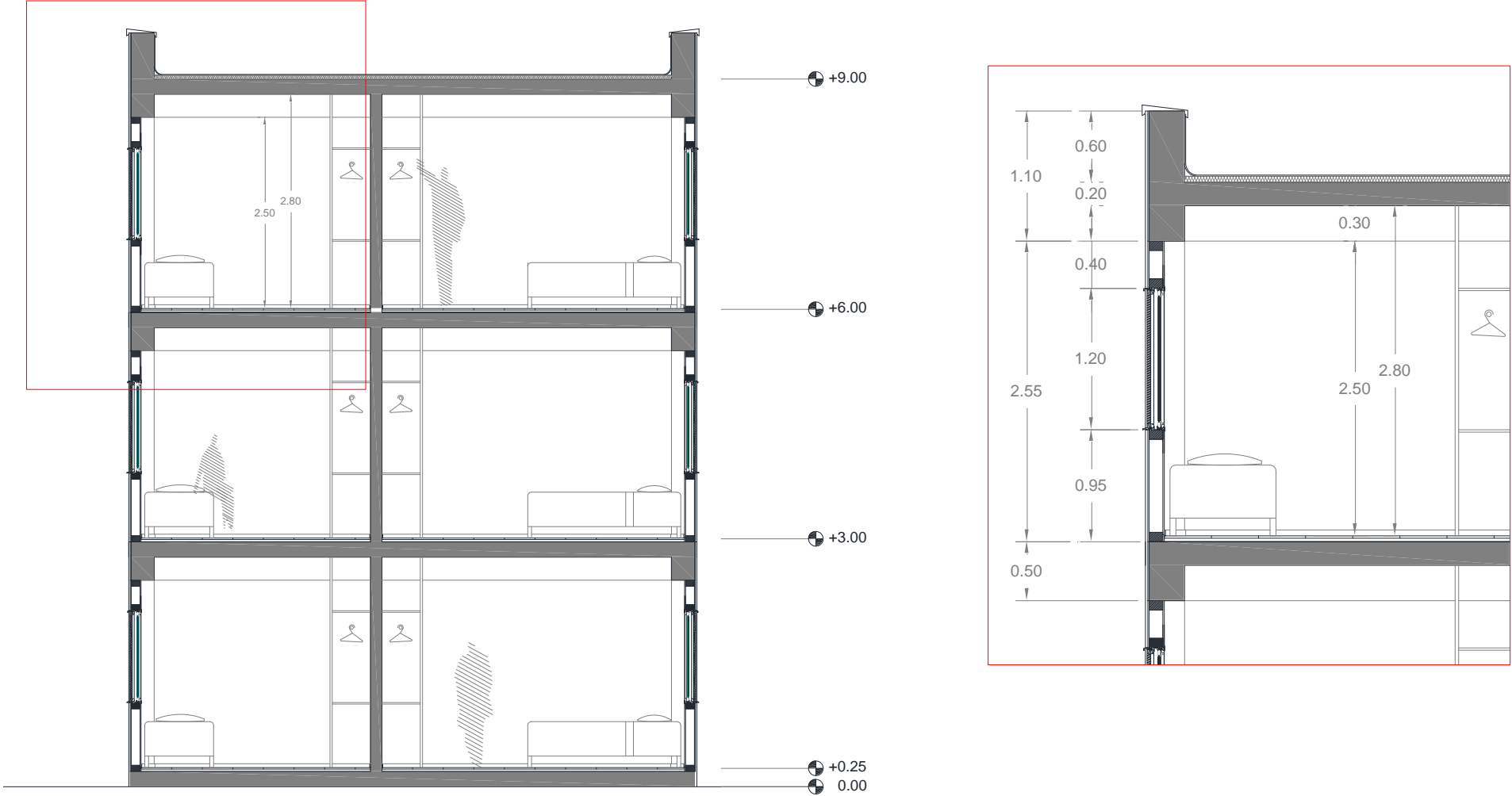


Planta original
Fuente: González, 2014

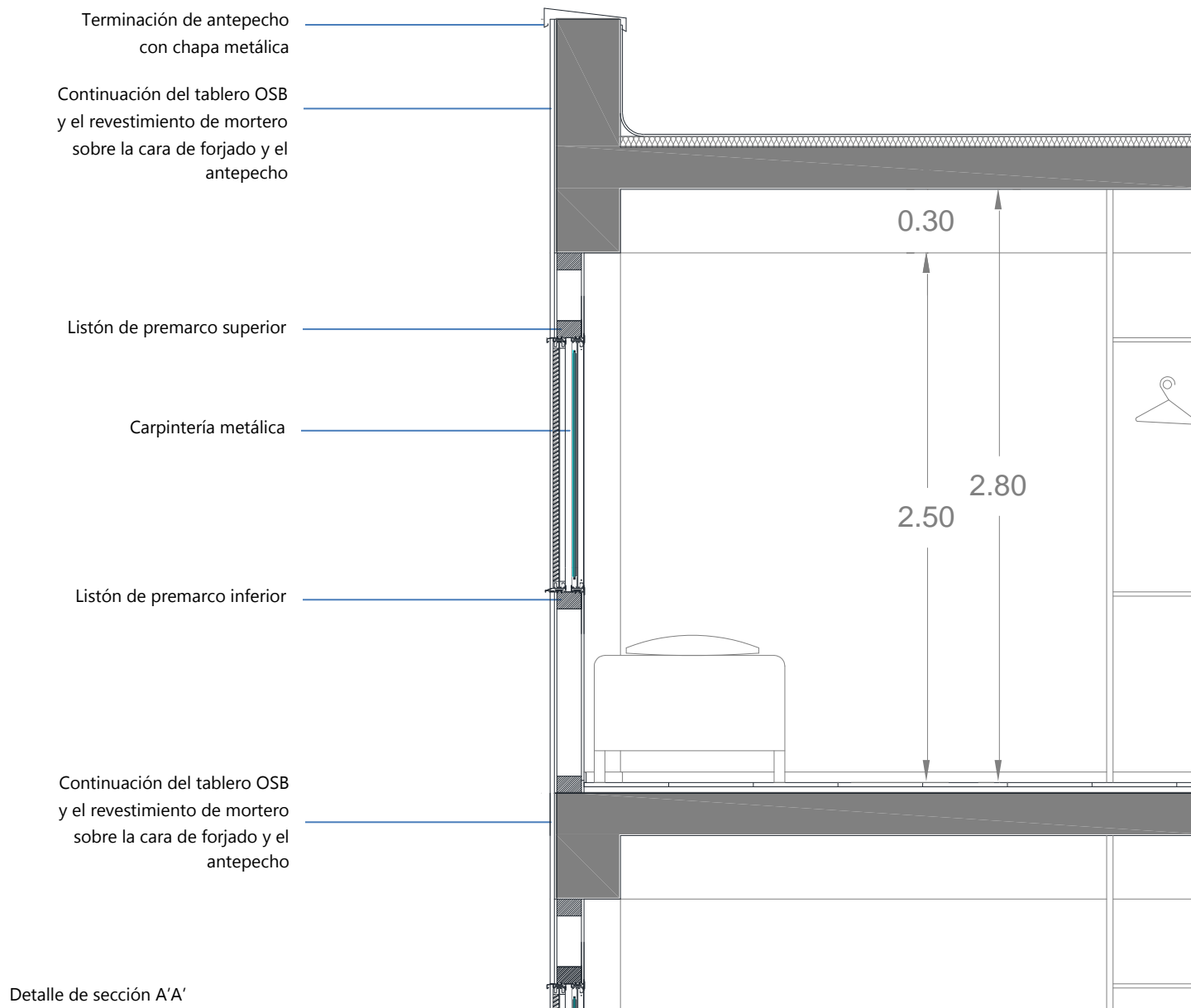
huecos en los montantes y los travesaños del panel. De no ser esto posible, cabría considerar un trasdosado de cartón yeso indirecto que permita un espacio para tuberías.



Planta adaptada a sistema de paneles



Sección A'A'



6. CONCLUSIONES

La mezcla de la estructura de hormigón armado con cerramientos de paneles de entramado de madera no portantes, a todas luces resulta beneficiosa. En primer lugar, la estructura de hormigón ofrece estabilidad estructural y da a los edificios la resistencia necesaria para soportar las cargas eólicas y sísmicas propias de la zona.

Por su parte, los paneles de entramado ligero de madera ofrecen una alternativa superior a la construcción con bloques de hormigón dada su ligereza, su facilidad de puesta en obra y las ventajas que presenta en el aspecto térmico y sísmico.

Las altas temperaturas, constantes durante todo el año en la República Dominicana, presentan un reto a la hora de plantear cerramientos. Los actuales cerramientos de bloque de hormigón dejan mucho que desear en este aspecto.

Su mayor resistencia térmica y menor inercia hacen al cerramiento de entramado de madera capaz de mantener una temperatura interior más baja y de asegurar el confort térmico de los usuarios, presentando claramente

mejor desempeño en comparación al cerramiento de bloques de hormigón, el cual transmite mayor cantidad de calor del exterior al interior de la vivienda.

Asimismo, la ligereza y la mayor flexibilidad de los paneles de entramado permiten que la estructura de hormigón armado se desempeñe mejor en caso de sismo.

Por otro lado, la madera ofrece la posibilidad de utilizar los bosques como fuente renovable de materiales de construcción, en contraposición al daño permanente que produce el dragado de ríos y canteras para extracción de material en la producción de cemento.

Se ha tratado, mediante la elección del revestimiento exterior, de apelar al tradicionalismo de los usuarios quienes desconfían de la resistencia de la madera. La apariencia exterior que brinda el tradicional revoco de mortero hace más fácil la aceptación popular del cerramiento de paneles de madera.

Al presentar los sistemas de fijación se ha realizado una comparación entre lo que sería la solución ideal en entornos con técnicas constructivas más avanzadas y edificios a mayor escala, y la solución satisfactoria a las

condiciones reales de construcción a pequeña escala en República Dominicana. Esta última solución, a pesar de ser menos sofisticada, cumple con todos los requisitos para su correcto funcionamiento y presenta una puesta en obra simple y directa, que podría ser ejecutada por mano de obra sin entrenamiento especializado.

Al intentar implementar un sistema nuevo, deben tenerse en cuenta las posibilidades de los usuarios y mantener una visión realista acerca de su elaboración y aplicación. Un sistema excesivamente complicado puede dificultar la puesta en obra del mismo y reducir la viabilidad de su uso popular.

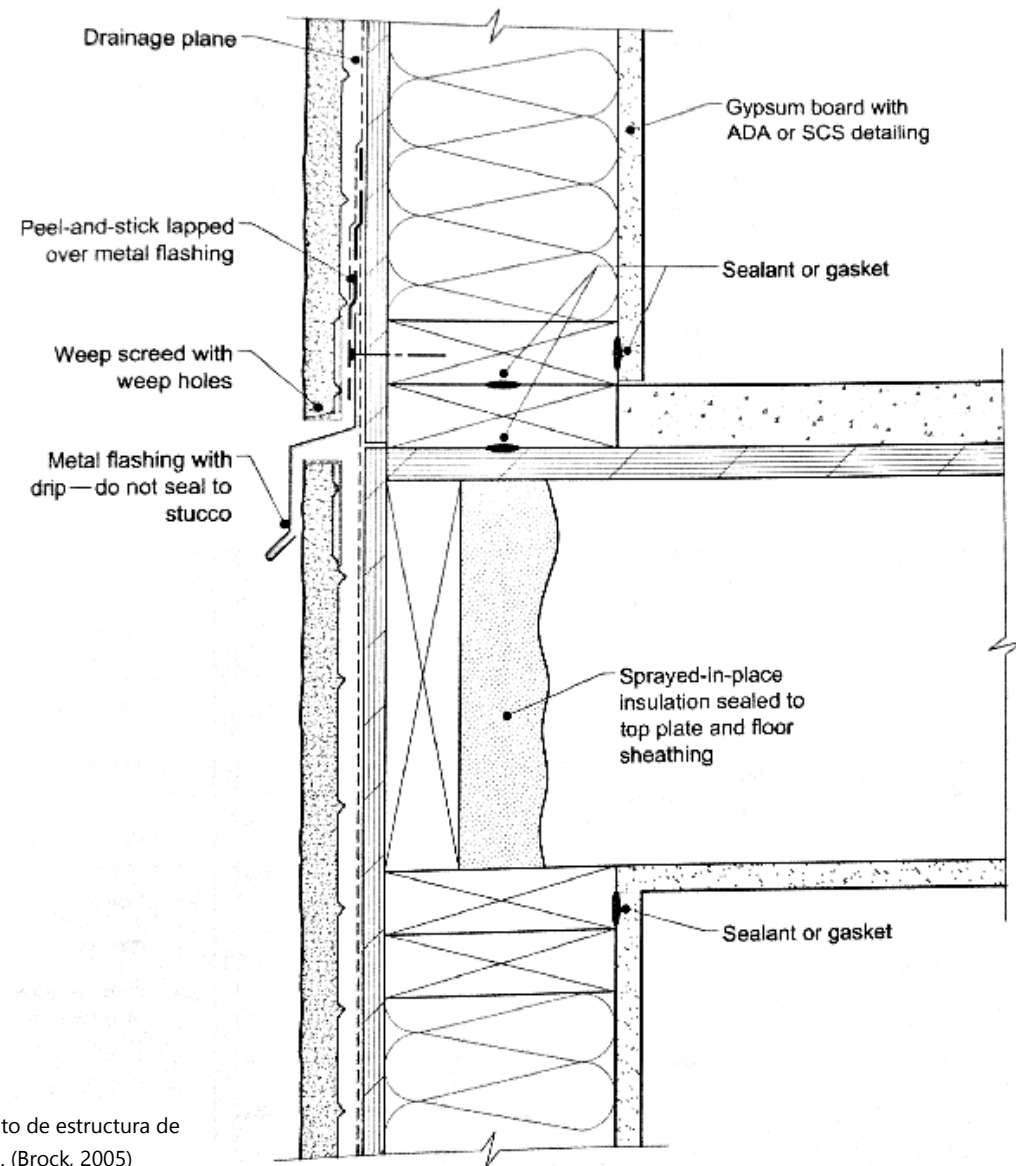
La elaboración de estos paneles puede ser realizada en pequeños talleres o a pie de obra, sin necesidad de especialización de la mano de obra y utilizando maquinaria tradicional para el trabajo en madera. Este carácter low-tech hace del sistema de paneles de entramado ligero de madera accesible a la población dominicana en general.

7. ANEXOS

1. Cálculo de porcentaje de confort de Fanger.

Parámetros de variables subjetivas

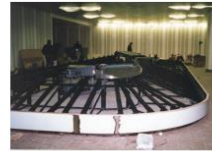
Vestimenta:	Actividad:
- desnudo	- ninguna
0.1- ropa interior	0.3- en descanso, reclinado
0.3- pantalones cortos y camiseta	0.8- sentado, relajado
0.5- pantalones largos y camisa ligera	1- actividad sedentaria
0.8- traje ligero	1.2- de pie
1.3- traje y ropa termal	1.6- actividad ligera
1.8- chaqueta y abrigo	1.8- actividad media
2.3- ropa pesada de invierno	2- caminata lenta
2.8- vestimenta de clima ártico	2.4- caminata rápida
	3- trabajo pesado
	3.5- trabajo agotador



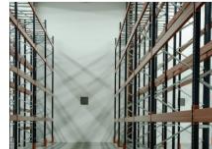
ANEXO 2. Detalle de revestimiento de estructura de madera con mortero de cemento. (Brock, 2005)

Trubolt Anchors

APPLICATIONS



Anchoring machinery and conveyors is a common wedge anchor application. The Trubolt is fully threaded to allow a large range of embedment and fixture thickness.



Seismic Wedge Anchor cracked concrete approval controls tension & shear simultaneously.

LENGTH INDICATION CODE*

CODE	LENGTH OF ANCHOR	CODE	LENGTH OF ANCHOR
A	1-1/2 < 2 (38.1 < 50.8)	K	6-1/2 < 7 (165.1 < 177.8)
B	2 < 2-1/2 (50.8 < 63.5)	L	7 < 7-1/2 (177.8 < 190.5)
C	2-1/2 < 3 (63.5 < 76.2)	M	7-1/2 < 8 (190.5 < 203.2)
D	3 < 3-1/2 (76.2 < 88.9)	N	8 < 8-1/2 (203.2 < 215.9)
E	3-1/2 < 4 (88.9 < 101.6)	O	8-1/2 < 9 (215.9 < 228.6)
F	4 < 4-1/2 (101.6 < 114.3)	P	9 < 9-1/2 (228.6 < 241.3)
G	4-1/2 < 5 (114.3 < 127.0)	Q	9-1/2 < 10 (241.3 < 254.0)
H	5 < 5-1/2 (127.0 < 139.7)	R	10 < 11 (254.0 < 279.4)
I	5-1/2 < 6 (139.7 < 152.4)	S	11 < 12 (279.4 < 304.8)
J	6 < 6-1/2 (152.4 < 165.1)	T	12 < 13 (304.8 < 330.2)

*Located on top of anchor for easy inspection.

FEATURES



Length ID Head Stamp—provides for embedment inspection after installation

Fully Threaded Design

Cold-Formed—manufacturing process adds strength

Stainless steel split expansion ring

Anchor Body—available in zinc-plated steel, hot-dipped galvanized steel, 304 stainless steel and 316 stainless steel

TRUBOLT® WEDGE ANCHOR

ITW Red Head

Call our toll free number 800-899-7890 or visit our web site for the most current product and technical information at www.itwredhead.com

APPROVALS/LISTINGS

Trubolt®
Wedge Anchors

ICC Evaluation Service, Inc. # ESR-2251

- Category 1 performance rating
- 2006 IBC compliant
- Meets ACI 318 ductility requirements
- Tested in accordance with ACI 355.2 and ICC-ES AC193
- For use in seismic zones A & B
- 1/4", 3/8" & 1/2" diameter anchors listed in ESR-2251

Underwriters Laboratories

Factory Mutual

City of Los Angeles - #RR2748

California State Fire Marshall

Caltrans

Meets or exceeds U.S. Government G.S.A. Specification A-A-1923A Type 4 (formerly GSA: FF-S-325 Group II, Type 4, Class 1)

INSTALLATION STEPS



1. Select a carbide drill bit with a diameter equal to the anchor diameter. Drill hole to any depth exceeding the desired embedment. See chart for minimum recommended embedment.



2. Clean hole or continue drilling additional depth to accommodate drill fines.



3. Assemble washer and nut, leaving nut flush with end of anchor to protect threads. Drive anchor through material to be fastened until washer is flush to surface of material.



4. Expand anchor by tightening nut 3-5 turns past the hand tight position, or to the specified torque requirement.

**** ONLY FOR USE IN CONCRETE ****

ANEXO 3. Detalles e instalación para fijaciones de expansión mecánica tipo 'Wedge' según el catálogo de *ITW RedHead*
http://www.itwredhead.com/pdfs/RH_pdfs/54-59_Trubolt.pdf

PERFORMANCE TABLE

Trubolt Wedge Anchors									
Ultimate Tension and Shear Values (Lbs/kN) in Concrete*									
ANCHOR DIA. In. (mm)	INSTALLATION TORQUE Ft. Lbs. (Nm)	EMBEDMENT DEPTH In. (mm)	ANCHOR TYPE	f _c = 2000 PSI (13.8 MPa)		f _c = 4000 PSI (27.6 MPa)		f _c = 6000 PSI (41.4 MPa)	
				TENSION Lbs. (kN)	SHEAR Lbs. (kN)	TENSION Lbs. (kN)	SHEAR Lbs. (kN)	TENSION Lbs. (kN)	SHEAR Lbs. (kN)
1/4 (6.4)	4 (5.4)	1-1/8 (28.6) 1-15/16 (49.2) 2-1/8 (54.0)		1,180 (5.2) 2,100 (9.3) 2,260 (10.1)	1,400 (6.2) 1,680 (7.5) 1,680 (7.5)	1,780 (7.9) 3,300 (14.7) 3,300 (14.7)	1,400 (6.2) 1,680 (7.5) 1,680 (7.5)	1,900 (8.5) 3,300 (14.7) 3,300 (14.7)	1,400 (6.2) 1,680 (7.5) 1,680 (7.5)
3/8 (9.5)	25 (33.9)	1-1/2 (38.1) 3 (76.2) 4 (101.6)		1,680 (7.5) 3,480 (15.5) 4,800 (21.4)	2,320 (10.3) 4,000 (17.8) 4,000 (17.8)	2,240 (10.0) 5,940 (26.4) 5,940 (26.4)	2,620 (11.7) 4,140 (18.4) 4,140 (18.4)	2,840 (12.6) 6,120 (27.2) 6,120 (27.2)	3,160 (14.1) 4,500 (20.0) 4,500 (20.0)
1/2 (12.7)	55 (74.6)	2-1/4 (57.2) 4-1/8 (104.8) 6 (152.4)	WS-Carbon or WS-G Hot-Dipped Galvanized or WW-304 S.S. or SWW-316 S.S.	4,660 (20.7) 4,660 (20.7) 5,340 (23.8)	4,760 (21.2) 7,240 (32.2) 7,240 (32.2)	5,100 (22.7) 9,640 (42.9) 9,640 (42.9)	4,760 (21.2) 7,240 (32.2) 7,240 (32.2)	7,040 (31.3) 10,820 (48.1) 10,820 (48.1)	7,040 (31.3) 8,160 (36.3) 8,160 (36.3)
5/8 (15.9)	90 (122.0)	2-3/4 (69.9) 5-1/8 (130.2) 7-1/2 (190.5)		6,580 (29.3) 6,580 (29.3) 7,060 (31.4)	7,120 (31.7) 9,600 (42.7) 9,600 (42.7)	7,180 (31.9) 14,920 (66.4) 15,020 (66.8)	7,120 (31.7) 11,900 (52.9) 11,900 (52.9)	9,720 (43.2) 16,380 (72.9) 16,380 (72.9)	9,616 (42.8) 12,520 (55.7) 12,520 (55.7)
3/4 (19.1)	110 (149.2)	3-1/4 (82.6) 6-5/8 (168.3) 10 (254.0)		7,120 (31.7) 10,980 (48.8) 10,980 (48.8)	10,120 (45.0) 20,320 (90.4) 20,320 (90.4)	10,840 (48.2) 17,700 (78.7) 17,880 (79.5)	13,720 (61.0) 23,740 (105.6) 23,740 (105.6)	13,300 (59.2) 20,260 (90.1) 23,580 (104.9)	15,980 (71.1) 23,740 (105.6) 23,740 (105.6)
7/8 (22.2)	250 (339.0)	3-3/4 (95.3) 6-1/4 (158.8) 8 (203.2)		9,520 (42.3) 14,660 (65.2) 14,660 (65.2)	13,160 (58.5) 20,880 (92.9) 20,880 (92.9)	14,740 (65.6) 20,940 (93.1) 20,940 (93.1)	16,580 (73.8) 28,800 (128.1) 28,800 (128.1)	17,420 (77.5) 24,360 (108.4) 24,360 (108.4)	19,160 (85.2) 28,800 (128.1) 28,800 (128.1)
1 (25.4)	300 (406.7)	4-1/2 (114.3) 7-3/8 (187.3) 9-1/2 (241.3)		13,940 (62.0) 14,600 (64.9) 18,700 (83.2)	16,080 (71.5) 28,680 (127.6) 28,680 (127.6)	20,180 (89.8) 23,980 (106.7) 26,540 (118.1)	22,820 (101.5) 37,940 (168.8) 37,940 (168.8)	21,180 (94.2) 33,260 (148.0) 33,260 (148.0)	24,480 (108.9) 38,080 (169.4) 38,080 (169.4)

* Allowable values are based upon a 4 to 1 safety factor. Divide by 4 for allowable load values.

* For Tie-Wire Wedge Anchor, TW-1400, use tension data from 1/4" diameter with 1-1/8" embedment.

* For continuous extreme low temperature applications, use stainless steel.

ANEXO 4. Cuadro de cargas límite de tensión y tracción para fijaciones de expansión mecánica tipo 'Wedge' según el catálogo de *ITW RedHead*. http://www.itwredhead.com/pdfs/RH_pdfs/54-59_Trubolt.pdf

8. BIBLIOGRAFÍA

- Argüelles Álvarez, R., 2010. *Uniones: un reto para construir con madera*. Madrid, Real Academia de Ingeniería.
- Arnold, Chris, 2009. *Timber Construction*, San Francisco, California: Building Systems Development, inc..
- ATEX, 2014. Murs-rideaux á ossature bois pour deux batiments d'habitation. *CTB Annuel ATEX*, Issue 10.
- Automated Builder, 1994. Test compares wood-frame to foam-core construction. *Automated Builder*, p. 19.
- Auvert, Y. & Nickels, J., s.f. La madera en los grandes bloques de viviendas: elementos de cierre. *Publicaciones de la AITIM, serie D*, Volumen 12, p. 43.
- Avellaneda, J., 1992. Subjeccions. *Quaderns d'arquitectura i urbanisme*, Issue 197, pp. 89-103.
- Ayala, A., Martínez, J. & Trujillo, J., 2012. *Estudio experimental del comportamiento estructural en el plano de la mampostería de bloque de concreto*, s.l.: Universidad de El Salvador.
- Ayscue, J., 1996. *Hurricane Damage to Residential Structures: Risk and Mitigation*, Baltimore: Johns Hopkins University.
- Balandier, P., s.f. *Construction parasismique en bois*, St. Pierre, Martinica: Direction Departamentale de l'Equipament.
- Brock, L., 2005. *Designing the exterior wall*. Hoboken, New Jersey: Wiley and Sons.
- California Building Standards Comission, 2013. *California Building Standards Code*, Sacramento: International Code Council.
- Canfor Lumber, 2015. <https://www.canfor.com>. [En línea]
Available at: <https://www.canfor.com/environmental/why-wood/comparing-wood-and-non-renewable-materials>
[Último acceso: 5 Abril 2015].
- Crittbois, 2014. *Construire en bois en zone sismique: guide á l'usage des constructeurs*, Epinal: s.n.
- Documentation Française du Batiment, 1980. *Les fixations et les scellements*. Paris: Moniteur.
- Fanger, P., 1982. *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Malabar, Fla.: Krieger.

Federal Emergency Management Agency, 1986. *Coastal Construction Manual*, Washington D.C.: FEMA.

Gedeón, L., 2013. *Confort y comportamiento térmico en cerramientos con materiales*, Barcelona: UPC.

Gonzalez, E., 2014. *Sobre la vivienda social dominicana en el siglo XX. Caso de Snato Domingo*. Tesina de Máster ed. Valencia : Universidd Politecnica de Valencia.

Huete Fuertes, R., 1987. El arquitecto y el diseño de paneles prefabricados de fachada. *Revista de Edificación - Universidad de Navarra*, Volumen 1, pp. 11-15.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1983. *NTP 74: Confort térmico. Método de Fanger para su evaluación*, Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2012. *Sistema de aislamiento térmico exterior para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios*, Madrid: IDAE.

International Code Council, 2010. *2010 Florida Building Code, Residential*. Tallahassee: International Code Council.

Khan, M. & Suaris, W., 1994. *Design and Construction Deficiencies and Building Code Adherence*. Nueva York: American Society of Civil Engineers.

Koncz, T., 1975. *Manual de la construcción prefabricada*. 3era ed. Madrid: Hermann Blume Ediciones.

Lang, C., 2012. *Proyecto de fin de estudios: 'Facade bois: application et performances'*, Estrasburgo: Insa Strasbourg.

LIGNUM, 1990. *Documentation bois: bases de dimensionnement, aseeblages et moyens d'assemblages*. Le Mont-sur-Laussanne: Lignum.

Loreto, A. y otros, 2000. La madera: una línea de investigación. *Tecnología y Construcción*, 16(3), pp. 9-20.

MacroFinanzas, 2009. *la industria del cemento en la republica dominicana y su importancia en la economía*, Santo Domingo: Macrofinanzas.

Mehrabi, A., 2000. *In-plane lateral load resistance of wall panels in residential building*, Skokie, Illinois: Portland Cement Association.

Méndez Lara, K., 2014. *Paneles estructurales de poliestireno expandido: análisis energético en el clima tropical-húmedo de Santo Domingo*, Barcelona: UPC.

- Mishra, S., 2013. Comparison of embodied energy in different masonry wall materials. En: *International Journal of Advanced Engineering Technology*. New Delhi: s.n.
- Molino, A., Schlafer, H. & Géhu, C., 2011. *Les murs rideaux en bois*, Val del Marne: s.n.
- Obiso, M., 1997. *Analysis of means and methods of construction improvement in single-family housing in mid-atlantic rural towns*: U. de Virginia.
- Oudet, J., 2013. *Etude économique et constructive des bâtiments mixtes béton-bois.*, Estrasburgo: INSA Strasbourg.
- Pirinen, M., 2014. *Ductility of wood and wood members connected with mechanical fastenings*, Espoo: Aalto University School of Science.
- Prieto Vicioso, E., 1996. *Monuments and sites of the Dominican Republic*, s.l.: ICOMOS Scientific Publications.
- Rivera, C., 2015. *Cubiertas verdes en la República Dominicana*, Barcelona: UPC.
- Rodríguez, A., 2004. *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina. Informe nacional: República Dominicana*, Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación .
- Rodríguez, J. & Raya, A., 1996, 1. La imposible levedad del muro. *Tectonica*, p. 10.
- Sanchez Hurtado, J., 2010. *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*, Madrid: Tesis de máster de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Severino, J., 2013. Radiografía al cemento dominicano. *Listín Diario*, 20 junio.
- Spit, s.f. *Guía técnica de fijaciones*, Barcelona: s.n.
- Subsecretaría de Estado de investigación, extensión y capacitación agropecuaria, 1996. *República Dominicana: Informe nacional para la conferencia técnica internacional de la FAO sobre los recursos fitogenéticos*, Santo Domingo: Secretaría de Estado de Agricultura.
- Wood Truss Council of America, 1996. *What we learned by framing the American dream*, Madison: WTC.
- Zamora, J.-L. & Calderón, J. M., 2005. *Diseño de fachadas ligeras: manual de introducción al proyecto arquitectónico*, s.l.: Hydro Building Systems.
- Zebboudj, I., 2011. Facade: Mur rideaux en bois sur structure béton. *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, Issue 5613, p. 48.